

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC STANDARD

Publication 540

Première édition — First edition

1976

**Méthodes d'essais pour les enveloppes isolantes et les gaines
des câbles électriques rigides et souples
(mélanges élastomères et thermoplastiques)**

**Test methods for insulations and sheaths of electric cables and cords
(elastomeric and thermoplastic compounds)**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC STANDARD

Publication 540

Première édition — First edition

1976

**Méthodes d'essais pour les enveloppes isolantes et les gaines
des câbles électriques rigides et souples
(mélanges élastomères et thermoplastiques)**

**Test methods for insulations and sheaths of electric cables and cords
(elastomeric and thermoplastic compounds)**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

Articles

1. Domaine d'application et validité	6
2. Généralités sur les essais	6

SECTION DEUX — MÉTHODES D'ESSAIS

3. Essais de décharges partielles	8
4. Mesure des épaisseurs et des diamètres	12
5. Détermination des propriétés mécaniques des mélanges pour enveloppes isolantes et gaines	18
6. Méthodes de vieillissement thermique	30
7. Essai de perte de masse des enveloppes isolantes et des gaines de p.v.c.	38
8. Essai de pression à température élevée pour enveloppes isolantes et gaines de p.v.c.	42
9. Essais à basse température pour enveloppes isolantes et gaines de p.v.c.	50
10. Essais de résistance à la fissuration des enveloppes isolantes et gaines de p.v.c.	62
11. Méthode de détermination de la masse volumique des mélanges élastomériques et thermoplastiques	66
12. Mesure de l'indice de fluidité à chaud du polyéthylène thermoplastique	70
13. Essai de résistance à l'ozone	76
14. Degré de réticulation du polyéthylène réticulé (PRC)	82
15. Essai de résistance à l'huile minérale pour les gaines à base d'élastomères	90
16. Essais électriques pour fils et câbles, souples et rigides, pour tensions ne dépassant pas 450/750 V	90
FIGURES	98

CONTENTS

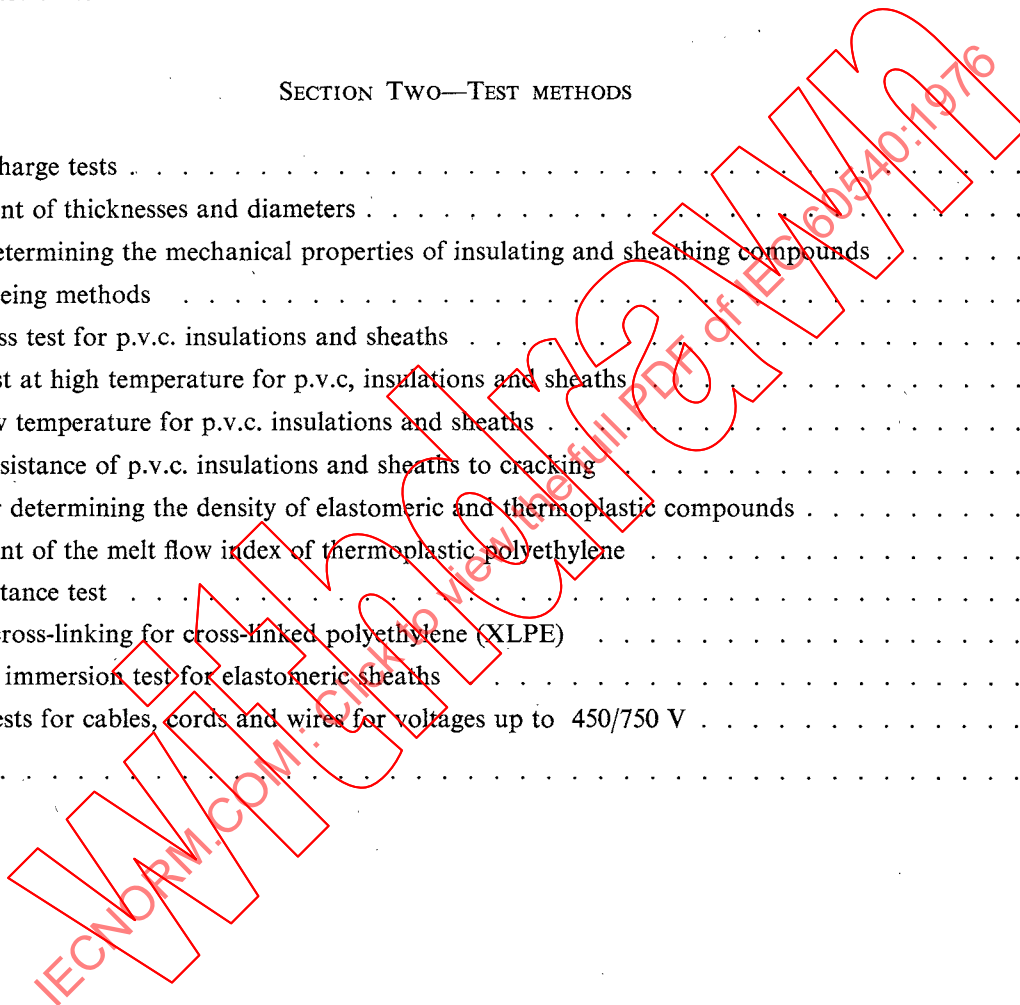
	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5

SECTION ONE—GENERAL

Clause	
1. Scope and validity	7
2. General notes on tests	7

SECTION TWO—TEST METHODS

3. Partial discharge tests	9
4. Measurement of thicknesses and diameters	13
5. Tests for determining the mechanical properties of insulating and sheathing compounds	19
6. Thermal ageing methods	31
7. Loss of mass test for p.v.c. insulations and sheaths	39
8. Pressure test at high temperature for p.v.c. insulations and sheaths	43
9. Tests at low temperature for p.v.c. insulations and sheaths	51
10. Tests for resistance of p.v.c. insulations and sheaths to cracking	63
11. Method for determining the density of elastomeric and thermoplastic compounds	67
12. Measurement of the melt flow index of thermoplastic polyethylene	71
13. Ozone resistance test	77
14. Degree of cross-linking for cross-linked polyethylene (XLPE)	83
15. Mineral oil immersion test for elastomeric sheaths	91
16. Electrical tests for cables, cords and wires for voltages up to 450/750 V	91
FIGURES	98



COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES D'ESSAIS POUR LES ENVELOPPES ISOLANTES
ET LES GAINES DES CÂBLES ÉLECTRIQUES RIGIDES ET SOUPLES
(MÉLANGES ÉLASTOMÈRES ET THERMOPLASTIQUES)**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la C E I, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la C E I et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente publication a été établie par le Sous-Comité 20A: Câbles de haute tension, du Comité d'Etudes N° 20: Câbles électriques.

Elle remplace la Publication 330 de la C E I: Méthodes d'essai des enveloppes isolantes et gaines de p.v.c. pour les câbles électriques.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Varsovie en 1973. A la suite de cette réunion, un projet, document 20A(Bureau Central)45, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en septembre 1974.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Allemagne	Pologne
Autriche	Portugal
Belgique	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suède
Finlande	Tchécoslovaquie
France	Turquie
Israël	Union des Républiques
Italie	Socialistes Soviétiques
Norvège	Yougoslavie
Pays-Bas	

Autre publication citée dans la présente publication:

Publication n° 270: Mesure des décharges partielles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TEST METHODS FOR INSULATIONS AND SHEATHS
OF ELECTRIC CABLES AND CORDS
(ELASTOMERIC AND THERMOPLASTIC COMPOUNDS)**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the I E C recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the I E C recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This publication has been prepared by Sub-Committee 20A, High-voltage Cables, of I E C Technical Committee No. 20, Electric Cables.

It supersedes I E C Publication 330, Methods of Test for p.v.c. Insulation and Sheath of Electric Cables.

A first draft was discussed at the meeting held in Warsaw in 1973. As a result of this meeting, a draft, Document 20A(Central Office)45, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1974.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Austria
Belgium
Czechoslovakia
Denmark
Finland
France
Germany
Israel
Italy
Netherlands

Norway
Poland
Portugal
Romania
Sweden
Turkey
Union of Soviet Socialist Republics
United Kingdom
United States of America
Yugoslavia

Other I E C publication quoted in this publication :

Publication No. 270, Partial Discharge Measurements.

MÉTHODES D'ESSAIS POUR LES ENVELOPPES ISOLANTES ET LES GAINES DES CÂBLES ÉLECTRIQUES RIGIDES ET SOUPLES (MÉLANGES ÉLASTOMÈRES ET THERMOPLASTIQUES)

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application et validité

1.1 *Domaine d'application*

La présente norme spécifie les méthodes d'essais à utiliser pour l'évaluation des enveloppes isolantes et des gaines à base de polymères synthétiques pour les fils et câbles électriques, rigides et souples, y compris certains types de câbles de télécommunication *.

1.2 *Valeurs prescrites pour les essais*

Les spécifications complètes des essais (conditions d'essais telles que température, durées, etc., et modalités d'exécution) ne figurent pas dans cette norme. Elles figurent, en principe, dans les normes particulières à chaque type de câble.

Les prescriptions d'essai mentionnées dans cette norme peuvent être modifiées par une norme particulière pour satisfaire aux besoins du type de câble correspondant.

1.3 *Application*

Les valeurs de conditionnement et paramètres d'essai qui sont indiqués correspondent aux mélanges d'isolation et de gaines, ainsi qu'aux fils et câbles, rigides et souples, des types les plus courants.

Il est entendu que les valeurs de ces paramètres doivent être modifiées pour des applications spéciales, par exemple pour des mélanges de polychlorure de vinyle (p.v.c.) fonctionnant à des températures de service supérieures à 70 °C et pour les enveloppes isolantes de câbles dont la tension nominale, U , dépasse 30 kV.

2. Généralités sur les essais

2.1 *Essais de type et autres essais*

Cette norme décrit essentiellement des méthodes relatives aux essais de type. Pour certains essais, des différences importantes existent entre les conditions dans lesquelles sont conduits les essais de types et les essais plus répétitifs, comme les essais individuels; ces différences sont alors précisées.

Les normes particulières à un type de câble considéré devraient spécifier si les mêmes méthodes d'essais sont adoptées, sous une forme identique ou simplifiée, pour les essais spéciaux et les essais individuels. En général, pour ces derniers essais, l'échantillonnage est réduit.

2.2 *Echantillonnage*

Pour les câbles multipolaires rigides et souples, on ne doit pas essayer plus de trois conducteurs isolés (de couleurs différentes, s'il y a lieu), sauf spécification contraire dans la norme particulière au type de câble considéré.

* En principe, il s'agit seulement, ici, des câbles de télécommunication isolés au polychlorure de vinyle (p.v.c.); les câbles isolés au polyéthylène (PE) sont à l'étude.

TEST METHODS FOR INSULATIONS AND SHEATHS OF ELECTRIC CABLES AND CORDS (ELASTOMERIC AND THERMOPLASTIC COMPOUNDS)

SECTION ONE—GENERAL

1. Scope and validity

1.1 *Scope*

This standard specifies the test methods to be used for testing polymeric insulation and sheath of electric cables, wires and cords, including some types of telecommunication cables *.

1.2 *Test values*

Full test conditions (such as temperatures, durations, etc. and full test requirements) are not specified in this standard; it is intended that they should be specified by the standard dealing with the relevant type of cable.

Any test requirements which are given in this standard may be modified by the relevant cable standard to suit the needs of a particular type of cable.

1.3 *Applicability*

Conditioning values and testing parameters are specified for the most common types of insulating and sheathing compounds and of cables, wires and cords.

It is intended that the values of these parameters should be modified for use in special applications, for instance for p.v.c. compounds for operation at temperatures higher than 70 °C and for insulation of cables for rated voltage, U , in excess of 30 kV.

2. General notes on tests

2.1 *Type tests and other tests*

The test methods described in this standard are intended, in the first instance, to be used for type tests. In certain tests, where there are essential differences between the conditions for type tests and those for more frequent tests, such as routine tests, these differences are indicated.

The relevant cable standards should specify whether the same methods shall be used, in the same or a simpler form, for special tests and routine tests. In general, for these latter tests, the sampling is reduced.

2.2 *Sampling*

For multicore cables and cords, not more than three cores (of different colours, if any) shall be tested unless otherwise specified in the relevant cable standard.

* In principle, only p.v.c.-insulated telecommunication cables have been considered; (PE) polyethylene-insulated cables are under consideration.

2.3 Préconditionnement

Tous les essais doivent être exécutés plus de 16 h après l'extrusion ou la vulcanisation (ou la réticulation), s'il y a lieu, des mélanges d'isolation et de gaine.

2.4 Température d'essai

Les essais sont exécutés à la température ambiante, sauf spécification contraire.

2.5 Valeur médiane

Plusieurs résultats d'essais étant obtenus et classés par valeurs croissantes ou décroissantes, la valeur médiane est la valeur du milieu de la série si le nombre de valeurs disponibles est impair, et la moyenne arithmétique des deux valeurs centrales dans la série si le nombre est pair.

2.6 Tension d'essai

Sauf spécification contraire, les essais de tension doivent être effectués en courant alternatif de 49 Hz à 61 Hz de forme sensiblement sinusoïdale, le rapport de la valeur de crête à la valeur efficace étant de $\sqrt{2}$ avec une tolérance de $\pm 7\%$.

Les valeurs indiquées sont des valeurs efficaces.

SECTION DEUX — MÉTHODES D'ESSAIS

3. Essais de décharges partielles

3.1 Définitions et objet

3.1.1 Définitions

Les définitions données dans la Publication 270 de la C E I: Mesure des décharges partielles, sont applicables à cette méthode.

Les définitions suivantes sont à signaler en particulier:

- a) charge apparente, q , ou amplitude de décharge (paragraphe 3.3.1);
- b) tension d'extinction de décharges partielles (paragraphe 3.4.1);
- c) rapport de réponse (paragraphe 3.3.2) et sensibilité (paragraphe 3.3.3).

3.1.2 Objet

L'objet des essais individuels est la détermination de la tension d'extinction de décharges partielles avec une sensibilité donnée; l'objet des essais de type est la détermination de l'amplitude de décharge sous une tension spécifiée.

Dans tous les cas, la grandeur à mesurer (voir la Publication 270 de la C E I, paragraphe 6.1) est la charge apparente, q .

3.2 Appareillage d'essai

3.2.1 Matériel

Le matériel est constitué par une source haute tension ayant une puissance, en kilovoltampères, correspondant à la longueur du câble en essai, par un voltmètre haute tension, un dispositif de mesure de décharges partielles et un dispositif d'étalonnage de décharges. Tous les composants de l'appareillage d'essai doivent avoir un niveau de bruit suffisamment faible pour arriver à la sensibilité voulue.

2.3 *Pre-conditioning*

All the tests shall be carried out not less than 16 h after the extrusion or vulcanization (or cross-linking), if any, of the insulating or sheathing compounds.

2.4 *Test temperature*

Unless otherwise specified, tests shall be made at ambient temperature.

2.5 *Median value*

When several test results have been obtained and ordered in an increasing or decreasing succession, the median value is the middle value if the number of available values is odd, and is the mean of the two middle values if the number is even.

2.6 *Test voltage*

Unless otherwise specified, the test voltages shall be a.c. 49 Hz to 61 Hz of approximately sine wave form, the ratio peak value/r.m.s. value being equal to $\sqrt{2}$ with a tolerance of $\pm 7\%$.

The values quoted are r.m.s. values.

SECTION TWO—TEST METHODS

3. **Partial discharge tests**

3.1 *Definitions and purpose*

3.1.1 *Definitions*

For the purpose of this method, the definitions given in IEC Publication 270, Partial Discharge Measurements, apply.

The following definitions are of particular relevance:

- a) apparent charge, q , or discharge magnitude (Sub-clause 3.3.1);
- b) partial discharge extinction voltage (Sub-clause 3.4.1);
- c) response ratio (Sub-clause 3.3.2) and sensitivity (Sub-clause 3.3.3).

3.1.2 *Purpose of the tests*

The purpose of the routine tests is to determine the partial discharge extinction voltage with a given sensitivity; the purpose of the type tests is to determine the discharge magnitude at a specified voltage.

In all cases, the quantity to be measured (see IEC Publication 270, Sub-clause 6.1) is the apparent charge, q .

3.2 *Test apparatus*

3.2.1 *Equipment*

The equipment consists of a high-voltage power supply having a kilovolt-ampere capacity adequate for the length of cable under test, a voltmeter for high voltages, a partial discharge measuring device and a discharge calibrator. All components of the test equipment shall have a sufficiently low noise level to achieve the required sensitivity.

3.2.2 Circuit d'essai et instruments

Le dispositif de mesures des décharges partielles se compose d'un circuit d'essai (voir la Publication 270 de la CEI), d'un oscilloscope et, si nécessaire, d'un appareil indicateur, associés à un équipement amplificateur approprié pour indiquer l'existence de décharges partielles et déceler les impulsions des décharges individuelles.

3.3 Etalonnage et contrôle

3.3.1 Méthode d'étalonnage

La méthode du « transfert de charge » doit être utilisée pour l'étalonnage conformément au paragraphe 5.2.1 de la Publication 270 de la CEI. On trouvera d'autres renseignements sur l'utilisation des appareils d'étalonnage de décharge dans le Rapport 1968-2101 de la CIGRE, annexe III. Dans cette méthode, on branche directement un dispositif d'étalonnage de décharge aux bornes d'une extrémité du câble en essai pour injecter des charges prédéterminées dans l'objet soumis à l'essai.

La quantité d'électricité, q_{cal} , fournie par les décharges d'étalonnage est égale au produit de l'amplitude de l'impulsion d'étalonnage ΔU (en volts) par la capacité de couplage, C_{cal} , de l'appareil d'étalonnage (en farads) tant que cette capacité est faible comparativement à celle de l'objet soumis aux essais, C_x .

Les caractéristiques de l'impulsion d'étalonnage doivent être conformes au paragraphe 5.2.1 de la Publication 270 de la CEI et au Rapport 1968-2101 de la CIGRE, annexe III, section III.

3.3.2 Rapport de réponse

Le câble en essai étant relié au circuit de détection, on vérifie la sensibilité à la détection et à la réponse de l'appareil en injectant l'impulsion d'étalonnage à une extrémité du câble, puis à l'autre. On prend la plus faible de ces deux réponses comme réponse globale pour déterminer le rapport de réponse k (où k est le nombre de picocoulombs de l'impulsion d'étalonnage par millimètre d'amplitude sur l'écran de l'oscilloscope ou rapport du nombre de picocoulombs (pC) de l'impulsion d'étalonnage à celui indiqué par le picocoulomb-mètre).

3.3.3 Sensibilité

a) La sensibilité du circuit d'essai (avec les instruments donnés) est définie comme la plus petite impulsion de décharge, q_{min} , (en picocoulombs) qui puisse être décelée en présence du bruit de fond.

Pour être décelable, une impulsion de décharge doit avoir une amplitude au moins double de celle du bruit apparent, h_n (h_n est l'amplitude du bruit en millimètres si on emploie un oscilloscope, ou la déviation du bruit en picocoulombs si on utilise un picocoulomb-mètre).

Par conséquent, $q_{min} = 2 k \cdot h_n$ (pC).

b) Dans le cas des essais individuels, la sensibilité sera égale à 20 pC au plus pour les isolants au polyéthylène (PE), polyéthylène réticulé (PRC), caoutchouc d'éthylène-propylène (EPR), caoutchouc butyle (butyle) et 40 pC au plus pour le polychlorure de vinyle (p.v.c.).

Dans le cas des essais de type, la sensibilité sera égale à 5 pC au plus pour tous les isolants.

3.3.4 Mesures particulières pour les grandes longueurs de câbles

Sur les grandes longueurs de câbles (plus de 100 m), on doit prendre des mesures particulières pour éviter les erreurs provoquées par la superposition des ondes progressives (voir le Rapport 1968-2101 de la CIGRE, annexe IV).

3.2.2 Test circuit and instruments

The partial discharge measuring device consists of a test circuit (see IEC Publication 270), an oscilloscope and, if desired, an indicating instrument, in conjunction with suitable amplifying equipment to indicate the existence of partial discharges and to detect individual discharge pulses.

3.3 Calibration and checking

3.3.1 Calibration method

The “charge transfer” method of calibration shall be used in accordance with Sub-clause 5.2.1 of IEC Publication 270. Further guidance for the use of discharge calibrators is found in CIGRE Report 1968-2101, Appendix III. In this method, a calibration device is connected directly across one end of the cable under test to inject predetermined charges into the test object.

The calibration discharge, q_{cal} , is equal to the product of the calibration pulse amplitude ΔU (in volts) and the coupling capacitance, C_{cal} , of the calibrator (in farads) as long as this capacitance is small compared with the capacitance of the test object, C_x .

The characteristics of the calibrating pulse shall conform to Sub-clause 5.2.1 of IEC Publication 270 and CIGRE Report 1968-2101, Appendix III, Section III.

3.3.2 Response ratio

With the cable under test connected to the detection circuit, the detection response sensitivity of the apparatus shall be checked with the calibrating pulse injected first at one end of the cable and then at the other. The lowest response in these two cases is taken as the overall response to establish the response ratio k (where k is the number of picocoulombs of the calibrating pulse per millimetre deflection on an oscilloscope screen, or the ratio of picocoulombs of the calibrating pulse to the deflection in picocoulombs (pC) of a picocoulomb-meter).

3.3.3 Sensitivity

a) The sensitivity of the test circuit (with the given instruments) is defined as the minimum detectable discharge pulse, q_{min} , (in picocoulombs) that can be seen in the presence of background noise.

In order to be detectable, a discharge pulse shall be at least twice the apparent noise height, h_n (h_n is the noise magnitude in millimetres if an oscilloscope is used, or the noise deflection in picocoulombs if a picocoulomb-meter is used).

Therefore, $q_{min} = 2k \cdot h_n$ (pC).

b) For routine tests, the sensitivity shall be 20 pC or less for polyethylene (PE), cross-linked polyethylene (XLPE), ethylene-propylene rubber (EPR), butyl rubber (Butyl) and 40 pC or less for polyvinyl chloride (p.v.c.).

For type tests, the sensitivity shall be 5 pC or less for all materials.

3.3.4 Particular provisions for long lengths of cable

On long lengths of cable (greater than 100 m), particular provisions are necessary to prevent errors caused by the superposition of travelling waves (see CIGRE Report 1968-2101, Appendix IV).

3.3.5 Condensateurs et signaux d'étalonnage

A moins que le condensateur d'étalonnage ne soit calculé pour être utilisé sous les tensions d'essais prévues, il est nécessaire que le circuit d'étalonnage primaire soit débranché avant que l'on alimente le transformateur d'essai haute tension. On ne doit pas modifier le gain de l'amplificateur après cette opération, à moins qu'on n'ait prévu des moyens pour afficher continuellement un signal d'étalonnage au cours de l'essai.

Les moyens à cet effet peuvent être les suivants:

a) le condensateur d'étalonnage peut être prévu pour la tension totale d'essai et faire partie du circuit d'étalonnage primaire qui n'a pas, dans ce cas, à être débranché avant que l'on alimente le transformateur d'essai haute tension, ou

b) on peut utiliser un dispositif d'étalonnage secondaire additionnel. Ce dispositif est relié à l'entrée du détecteur. Dans ce cas, on doit préétalonner l'amplitude de la réponse à l'impulsion secondaire en prenant comme base le circuit d'étalonnage primaire avant de débrancher ce dernier circuit et d'alimenter le transformateur d'essai haute tension, conformément au Rapport 1968-2101 de la CIGRE, annexe III, section I, paragraphe 1.2.

3.4 Mode opératoire et prescriptions d'essais

3.4.1 Mode opératoire

Pour les essais individuels et les essais de type, la tension d'essai doit être appliquée entre l'âme conductrice et l'écran, montée à $1,5 U_0$ ($1,5 U_0 = 1,2 \times 1,25 U_0$) et maintenue à cette valeur pendant 1 min au plus (U_0 étant la tension nominale du câble).

Réduire alors lentement la tension d'essai à $1,25 U_0$ et mesurer l'amplitude des décharges.

Pour les tensions nominales des câbles prévues par cette norme, les tensions d'essais de référence (en kilovolts efficaces) sont données dans le tableau suivant:

Tensions nominales U_0/U	3,6/6	6/10	8,7/15	12/20	18/30
Tension de référence	5,4	9,0	13,0	18,0	27,0
pour $1,5 U_0$	4,5	7,5	11,0	15,0	22,5

Si l'amplitude des décharges partielles à $1,5 U_0$ dépasse 20 pC pour le PE, le PRC, l'EPR ou le butyle, ou 40 pC pour le p.v.c., on note la tension, en dessous de laquelle l'amplitude des décharges est plus faible que celle imposée pour le matériau. Cette mesure est effectuée lorsque la tension décroît jusqu'à la valeur $1,25 U_0$; cette valeur de tension est considérée comme la tension d'extinction des décharges partielles.

4. Mesure des épaisseurs et des diamètres

4.1 Mesure des épaisseurs des enveloppes isolantes

4.1.1 Généralités

La mesure de l'épaisseur de l'enveloppe isolante peut être prescrite à titre d'essai individuel ou comme une opération dans la procédure d'exécution d'autres essais, comme la détermination des caractéristiques mécaniques.

Dans chaque cas, les échantillons doivent être prélevés en utilisant les méthodes indiquées dans la norme particulière au type de câble considéré.

4.1.2 Matériel de mesure

Microscope de mesure permettant des lectures d'une précision de 0,01 mm, sauf dans le cas des enveloppes isolantes d'épaisseur inférieure à 0,5 mm, où la lecture doit permettre d'estimer la troisième décimale.

3.3.5 Calibrating capacitors and calibrating signals

Unless the calibrating capacitor is rated for use at the test voltages involved, it is necessary for the primary calibration circuit to be disconnected before the high-voltage test transformer is energized. The amplifier gain shall not be readjusted after this has been done, unless a means is provided for a continuous display of a suitable calibrating signal throughout the test.

Such a means may be as follows:

- a) the calibrating capacitor may be full-voltage rated and may form part of the primary calibration circuit which need not, in this case, be disconnected before the high-voltage test transformer is energized, or
- b) a secondary calibrator can be used additionally. This calibrator is connected to the input of the detector. In this case, the amplitude of the secondary pulse response shall be pre-calibrated against the primary calibrating circuit before the latter circuit is disconnected and the high-voltage test transformer is energized, in accordance with CIGRE Report 1968-2101, Appendix III, Section I, Sub-clause 1.2.

3.4 Test procedure and requirements

3.4.1 Procedure

Both for routine and type tests, the test voltage shall be applied between conductor and screen and shall be raised to and held at $1.5 U_0$ ($1.5 U_0 = 1.2 \times 1.25 U_0$) for not more than 1 min (where U_0 is the rated voltage of the cable).

The test voltage shall then be slowly reduced to $1.25 U_0$, and the discharge magnitude measured.

For the standard rated voltages of the cables considered in this standard, the reference test voltages are given in the following table (in kilovolts r.m.s.):

Rated voltages U_0/U		3.6/6	6/10	8.7/15	12/20	18/30
Reference voltage	for $1.5 U_0$	5.4	9.0	13.0	18.0	27.0
	for $1.25 U_0$	4.5	7.5	11.0	15.0	22.5

If the partial discharge magnitude at $1.5 U_0$ exceeds 20 pC for PE, XLPE, EPR or Butyl, or 40 pC for p.v.c., the voltage shall be recorded, at which the discharge magnitude first drops to or below 20 pC or 40 pC, as appropriate for the insulating material. This measurement is made as the voltage is reduced to $1.25 U_0$ and is known as the partial discharge extinction voltage.

4. Measurement of thicknesses and diameters

4.1 Measurement of thicknesses of the insulating walls

4.1.1 General

Measurement of insulation thickness may be required as an individual test, or as a step in the procedure for carrying out other tests, such as the determination of mechanical properties.

In each case, the methods of selection of samples shall be in accordance with the relevant cable standard.

4.1.2 Measuring equipment

A measuring microscope allowing a reading of 0.01 mm and an estimated reading to three decimal places when measuring insulation with a thickness less than 0.5 mm.

Au lieu du microscope, on peut utiliser un projecteur de mesure avec grossissement minimal de 10 mais, en cas de doute, on doit retenir la méthode de mesure par microscope de mesure.

4.1.3 Préparation des éprouvettes

On débarrasse l'enveloppe isolante des protections éventuelles et on extrait l'âme conductrice en veillant à ne pas endommager l'enveloppe isolante. On ne doit pas éliminer les couches semi-conductrices internes et (ou) externes si elles sont adhérentes à l'enveloppe isolante.

Chaque éprouvette est constituée par une tranche mince de l'enveloppe isolante. La tranche doit être coupée avec un appareil approprié (couteau bien affilé, lame de rasoir, etc.) suivant un plan perpendiculaire à l'axe du conducteur.

Si l'enveloppe isolante est marquée en creux, ayant ainsi localement une épaisseur réduite, on doit prélever l'éprouvette de manière à inclure un tel marquage.

4.1.4 Méthode de mesure

L'éprouvette doit être placée sur la platine de l'appareil de mesure, le plan de coupe étant normal à l'axe optique.

a) Si le profil intérieur de l'éprouvette est circulaire, on procède à six mesures radiales, autant que possible réparties également sur la circonférence.

Dans le cas de conducteurs sectoriaux, les six mesures doivent être effectuées comme représenté à la figure 1, page 98.

b) Si l'enveloppe isolante est prélevée sur une âme câblée, on effectue les six mesures radiales dans les positions où l'enveloppe isolante est la plus mince, c'est-à-dire entre les crêtes provoquées par les brins de l'âme comme représenté à la figure 2, page 98.

c) Si le profil extérieur est de forme irrégulière, le fil transversal du réticule doit être placé comme représenté à la figure 3, page 98.

d) Si des couches semi-conductrices internes et (ou) externes ne peuvent être séparées de l'enveloppe isolante, on effectue les mesures sans inclure l'épaisseur de ces couches.

e) Pour les câbles souples méplats, on effectue les mesures conformément à la figure 6, page 98.

Dans tous les cas, la première mesure doit être effectuée au point où l'enveloppe isolante est la plus mince.

Les lectures doivent être effectuées, en millimètres, à la deuxième décimale si l'épaisseur de l'enveloppe isolante est de 0,5 mm ou au-dessus. Pour les épaisseurs de l'enveloppe isolante inférieures à 0,5 mm, les lectures doivent être effectuées à la troisième décimale.

4.1.5 Evaluation des résultats de mesures

Les résultats à obtenir sont définis dans la norme particulière au type de câble considéré.

Dans le cas d'essais mécaniques, la « valeur moyenne de l'épaisseur, δ » de chaque éprouvette (voir le paragraphe 5.1.4a)) doit être calculée à partir des six résultats de mesure obtenus sur cette éprouvette.

4.2 Mesure de l'épaisseur des gaines non métalliques

4.2.1 Généralités

La mesure de l'épaisseur de la gaine peut être prescrite à titre d'essai individuel ou comme une opération dans la procédure d'exécution d'autres essais, comme la détermination des caractéristiques mécaniques.

La méthode d'essai s'applique à la mesure de toutes les gaines pour lesquelles des limites d'épaisseur sont prescrites, comme les gaines de séparation, ainsi que les gaines extérieures.

Dans chaque cas, les échantillons doivent être prélevés en utilisant les méthodes indiquées dans la norme particulière au type de câble considéré.

Instead of the microscope, a suitable measuring projector with a magnification power of at least 10 may be used, but in case of doubt, the microscope measuring procedure shall be applied.

4.1.3 *Preparation of test pieces*

Any covering shall be removed from the insulation and the conductor shall be withdrawn, care being taken to avoid damage of the insulation. Semi-conducting inner and/or outer layers, if bonded to the insulation, shall not be removed.

Each test piece shall consist of a thin slice of insulation. The slice shall be cut with a suitable device (sharp knife, razor blade, etc.) along a plane perpendicular to the axis of the conductor.

If a marking is stamped into the insulation, thus giving rise to a local reduction of thickness, the test piece shall be taken so as to include such marking.

4.1.4 *Measuring procedure*

The test piece shall be placed under the measuring equipment with the plane of the cut perpendicular to the optical axis.

a) When the inner profile of the test piece is a circle, six measurements shall be made radially, as far as possible equally spaced around the circumference.

For sector-shaped cores, the six measurements shall be made as shown in Figure 1, page 98.

b) When the insulation is taken from a stranded conductor, six measurements are to be made radially in the positions where the insulation is thinnest, i.e. between the ridges caused by strands, as shown in Figure 2, page 98.

c) When the outer profile shows unevenness, the cross-wire of the microscope shall be adjusted as shown in Figure 3, page 98.

d) When there are unremovable screening layers under and/or over the insulating wall, they shall be excluded from the measurements.

e) Flat cords shall be measured according to Figure 6, page 98.

In all cases, the first measurement shall be made at the place where the insulation is thinnest.

The readings shall be made, in millimetres, to two decimal places if the thickness of insulation is 0.5 mm or above and to three decimal places if the thickness of insulation is less than 0.5 mm.

4.1.5 *Evaluation of the measurement results*

As specified in the test requirements of the relevant cable standard.

In the case of mechanical tests, the “mean value of the thickness, δ ” of each test piece (see Sub-clause 5.1.4a)) shall be calculated from the six measurement results obtained on that test piece.

4.2 *Measurement of thickness of non-metallic sheaths*

4.2.1 *General*

The measurement of sheath thickness may be required as an individual test, or as a step in the procedure for carrying out other tests, such as the measurement of mechanical properties.

The test method applies to the measurement of all sheaths for which thickness limits are specified, e.g. separation sheaths, as well as external sheaths.

In each case, the method of selecting samples shall be in accordance with the relevant cable standard.

4.2.2 Matériel de mesure

(Voir le paragraphe 4.1.2).

4.2.3 Préparation des éprouvettes

Après avoir retiré tous les matériaux à l'intérieur et à l'extérieur du tronçon de gaine, on prépare chaque éprouvette en coupant avec un appareil approprié (couteau bien affilé, lame de rasoir, etc.) une tranche mince suivant un plan perpendiculaire à l'axe du câble.

Si nécessaire, les surfaces de coupe sont soigneusement égalisées.

Si la gaine est marquée en creux, ayant ainsi localement une épaisseur réduite, on doit prélever l'éprouvette de manière à inclure un tel marquage.

4.2.4 Méthode de mesure

L'éprouvette est placée sur la platine de l'appareil de mesure, le plan de coupe étant normal à l'axe optique.

a) Si le profil intérieur de l'éprouvette est circulaire, on procède à six mesures radiales, autant que possible réparties également sur la circonférence.

b) Si le profil intérieur pratiquement circulaire n'est ni régulier ni lisse, on procède à six mesures radiales dans les positions où la gaine est la plus mince, le fil transversal du réticule étant placé comme dans l'exemple représenté à la figure 4, page 98.

c) Si le profil intérieur n'est pas circulaire, on effectue un nombre approprié de mesures radiales (jusqu'à six) dans les directions où la gaine est la plus mince, c'est-à-dire au fond des empreintes formées par les conducteurs comme représenté à la figure 5, page 98.

d) Dans tous les cas, la première mesure est effectuée au point où la gaine est la plus mince.

Les lectures doivent être effectuées en millimètres à la deuxième décimale.

4.2.5 Evaluation des résultats de mesure

Les résultats à obtenir sont définis dans la norme particulière au type de câble considéré.

Dans le cas des essais mécaniques, la « valeur moyenne de l'épaisseur, δ » de chaque éprouvette (voir le paragraphe 5.2.4a)1) doit être calculée à partir de tous les résultats de mesure obtenus sur cette éprouvette.

4.3 Mesure des diamètres

4.3.1 Généralités

La mesure des diamètres extérieurs sur les enveloppes isolantes ou les gaines peut être prescrite à titre d'essai individuel ou comme une opération dans la procédure d'exécution d'autres essais. On utilise généralement les méthodes décrites au paragraphe 4.3.2 ci-dessous, sauf dans les cas où un essai particulier prescrit l'emploi d'une méthode différente ou comme variante.

4.3.2 Mode opératoire

a) Pour les diamètres ne dépassant pas 15 mm: utiliser le microscope ou le projecteur de mesure en opérant sur la même tranche mince que celle utilisée pour la mesure des épaisseurs, décrite à l'article 4 (voir les paragraphes 4.1.4 et 4.2.4).

Pour les mesures faites dans le cas des essais individuels, il est possible d'utiliser un micromètre à cadran ou un pied à coulisse en limitant la pression.

4.2.2 *Measuring equipment*

(See Sub-clause 4.1.2).

4.2.3 *Preparation of test pieces*

After all materials, if any, inside and outside the sheath have been removed, each test piece shall be prepared by cutting with a suitable device (sharp knife, razor blade, etc.) a thin slice along a plane perpendicular to the axis of the cable.

If necessary, the planes of the cuts shall be carefully smoothed.

If a marking is stamped into the sheath, thus giving rise to a local reduction of thickness, the test piece shall be taken so as to include such marking.

4.2.4 *Measuring procedure*

The test piece shall be placed under the measuring equipment with the plane of the cut perpendicular to the optical axis.

a) When the inner profile of the test piece is a circle, six measurements shall be carried out radially, equally spaced, as far as possible, around the circumference.

b) If the inner substantially circular surface is not regular or smooth, the six measurements shall be made radially in the positions where the sheath is thinnest placing the cross-wire of the microscope as shown for example in Figure 4, page 98.

c) When the inner profile is not circular, an appropriate number of measurements (up to six) shall be carried out radially where the sheath is thinnest, i.e. at the bottom of the grooves caused by the cores, as shown in Figure 5, page 98.

d) In all cases, the first measurement shall be made at the place where the sheath appears to be thinnest.

The readings shall be made in millimetres to two decimal places.

4.2.5 *Evaluation of the measurement results*

As specified in the test requirements of the relevant cable standard.

In the case of mechanical tests, the "mean value of the thickness, δ " of each test piece (see Sub-clause 5.2.4a)1) shall be calculated from all measurement results obtained on that test piece.

4.3 *Measurement of diameters*

4.3.1 *General*

The measurement of the diameters over the insulation of cores or over the sheath may be required as individual tests or as steps in the procedure for carrying out other tests. The methods in Sub-clause 4.3.2 below are for general use except where the procedure for a particular test specifies a different or alternative method.

4.3.2 *Measuring procedure*

a) For diameters up to and including 15 mm: the microscope or projector method shall be used on the same thin slice used for the measurement of the thicknesses, as described in Clause 4 (see Sub-clauses 4.1.4 and 4.2.4).

For measurements made in the course of routine tests, it is permissible to use a dial micrometer or a vernier calliper, care being taken to limit the pressure.

b) Pour les diamètres supérieurs à 15 mm: utiliser un mètre-ruban en opérant sur chaque éprouvette.

Sauf spécification contraire dans la norme particulière au type de câble considéré, les lectures doivent être faites avec deux décimales pour les diamètres égaux et inférieurs à 15 mm et une décimale pour les diamètres supérieurs à 15 mm.

5. Détermination des propriétés mécaniques des mélanges pour enveloppes isolantes et gaines

5.1 Mélanges pour enveloppes isolantes

5.1.1 Généralités

Les essais consistent à déterminer la résistance à la traction et l'allongement à la rupture des matériaux isolants (à l'exclusion des revêtements semi-conducteurs) prélevés sur des tronçons de câble, dans les conditions suivantes:

- a) à l'état de réception (c'est-à-dire sans traitement de vieillissement);
- b) après un traitement de vieillissement accéléré;
- c) après un autre traitement de vieillissement, différent de b), si nécessaire.

Les essais de traction et d'allongement à la rupture sont effectués sur les éprouvettes non vieilles en même temps que sur les éprouvettes vieilles.

5.1.2 Echantillonnage

a) Trois échantillons de chaque conducteur isolé à essayer sont prélevés, chacun étant espacé d'au moins 1 m des deux autres. *Les conducteurs isolés des câbles souples méplats ne sont pas séparés.* Chaque échantillon, d'au moins 600 mm de longueur, doit être coupé en six tronçons ayant chacun une longueur d'environ 100 mm. Deux des tronçons doivent être utilisés pour chacun des essais a), b) et c), de sorte qu'il y ait six tronçons de conducteur isolé pour chacun de ces essais.

S'il est possible de prélever deux éprouvettes d'essais sur la circonférence du conducteur isolé, l'échantillon doit avoir 400 mm de longueur et doit être coupé en quatre tronçons (de 100 mm de longueur environ chacun).

b) Si les échantillons de conducteurs isolés sont prélevés en trois points x, y et z, leurs petits tronçons seront marqués consécutivement:

$X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$

$Y_0, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5$

$Z_0, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5$

Dans le cas de deux éprouvettes prélevées sur la circonférence du conducteur isolé, le numérotage est le suivant pour le point x:

X_0	X_1	X_4	X_5
	X_2	X_3	

Le mode opératoire doit être le même pour les petits tronçons prélevés aux points y et z.

c) S'il n'est pas prescrit un deuxième traitement de vieillissement, chaque échantillon d'au moins 400 mm de longueur doit être coupé en quatre petits tronçons numérotés de 1 à 4.

d) Le numérotage des petits tronçons, et des éprouvettes qui seront préparées à partir de ces tronçons, doit correspondre à leurs emplacements d'origine sur l'échantillon de conducteur isolé.

e) On prépare toutes les éprouvettes selon le paragraphe 5.1.3.

b) For diameters exceeding 15 mm: a measuring tape shall be used on each test piece.

Unless otherwise specified in the relevant cable standard, the readings shall be made to two decimal places for diameters up to and including 15 mm, and to one decimal place for diameters exceeding 15 mm.

5. Tests for determining the mechanical properties of insulating and sheathing compounds

5.1 Insulating compounds

5.1.1 General

The tests shall determine the tensile strength and elongation-at-break of the insulating material (exclusive of semi-conductive layers) taken from pieces of cable in the following conditions:

- a) as received (i.e. without any ageing treatment);
- b) after an accelerated ageing treatment;
- c) after another ageing treatment, different from b), if required.

The test of tensile strength and elongation-at-break with the unaged pieces shall be made at the same time as the test with the aged pieces.

5.1.2 Sampling

a) Three samples of each core to be tested shall be taken each not less than 1 m from the other two. *The cores of flat cords shall not be separated.* Each sample, at least 600 mm long, shall be cut into six pieces, the length of each piece being about 100 mm. Two of these shall be used for each of the tests a), b) and c), so that six small pieces of insulated core are provided for each of these tests.

If it is possible to take two test pieces from the circumference of the core, the sample shall be at least 400 mm long and shall be cut into four pieces (each about 100 mm long).

b) If the samples of core are taken from the three places x, y and z, the small core pieces shall be marked consecutively:

$X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$

$Y_0, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5$

$Z_0, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5$

When two test pieces are to be taken from the circumference of the core, the numbering for place x shall be:

	X_1	X_4	
X_0	X_2	X_3	X_5

The procedure shall be similar for the small pieces taken from y and z.

c) If a second ageing treatment is not required, each sample, at least 400 mm long, shall be cut into four small pieces and numbered 1 to 4.

d) The numbering of the small pieces, and of the test pieces which will be prepared therefrom, shall correspond to their original places in the sample of core.

e) All the test pieces shall be subjected to the preparation described in Sub-clause 5.1.3.

f) Les éprouvettes numérotées 1 et 3 doivent être soumises à la détermination de la section selon le paragraphe 5.1.4, puis au conditionnement et à l'essai de résistance à la traction des paragraphes 5.1.6, 5.1.7 et 5.1.8, sans traitement de vieillissement préalable; les éprouvettes 2 et 4 doivent être soumises au traitement de vieillissement décrit au paragraphe 5.1.5, puis à la détermination de la section selon le paragraphe 5.1.4, et enfin au conditionnement et à l'essai de résistance à la traction selon les paragraphes 5.1.6, 5.1.7 et 5.1.8; les éprouvettes 0 et 5 doivent être soumises à l'essai de résistance à la traction après un autre traitement de vieillissement, si nécessaire.

5.1.3 Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes peuvent être de deux types: en forme d'haltère ou de forme tubulaire.

Les éprouvettes plates en forme d'haltère doivent être utilisées chaque fois que cela est possible.

Les éprouvettes tubulaires ne peuvent pas être utilisées lorsqu'il y a une couche semi-conductrice adhérente à la surface interne de l'enveloppe isolante.

Les éprouvettes tubulaires ne doivent être utilisées que pour les conducteurs isolés dont le diamètre est si petit qu'il est impossible de découper des éprouvettes en forme d'haltère.

a) Eprouvettes tubulaires

On prépare un tube d'au moins 100 mm de longueur en retirant tous les revêtements extérieurs et l'âme conductrice et en prenant soin de ne pas endommager l'enveloppe isolante.

S'il est difficile d'extraire l'âme, on devra l'étirer par un moyen approprié.

On délimite une longueur de 20 mm à l'aide de deux traits de repère tracés sur la partie centrale de chaque éprouvette, aussitôt avant l'essai de traction.

b) Eprouvettes plates en forme d'haltère

L'enveloppe isolante doit être fendue parallèlement à l'axe et on retire l'âme.

On enlève les couches semi-conductrices, placées éventuellement à l'intérieur ou (et) à l'extérieur des tronçons d'isolant, par un procédé mécanique, c'est-à-dire sans utiliser de solvant.

On meule ou on coupe l'enveloppe isolante afin d'obtenir deux faces parallèles entre les traits de repère mentionnés ci-dessous; en veillant à éviter un échauffement excessif lors du meulage. Après le meulage ou la coupe, l'épaisseur des éprouvettes ne doit pas être inférieure à 0,8 mm, ni supérieure à 2,0 mm.

La coupe est la seule méthode permise pour les isolations au PE.

Après cette opération, on découpe une éprouvette plate en forme d'haltère au moyen d'un poinçon dont l'empreinte est conforme à la figure 7, page 99, ou, si possible, deux éprouvettes en forme d'haltère placées côte à côte.

Si le diamètre du conducteur isolé est trop petit, on découpe une éprouvette plate en forme d'haltère au moyen d'un poinçon dont la forme doit être conforme à la figure 8, page 99.

On délimite une longueur de 20 mm à l'aide de deux traits de repère tracés sur la partie centrale de chaque éprouvette en forme d'haltère comme indiqué à la figure 7, aussitôt avant l'essai de traction; sur la petite éprouvette en forme d'haltère de la figure 8, la distance entre les deux traits de repère doit être de 10 mm.

5.1.4 Détermination de la section de l'enveloppe isolante

a) Section de l'éprouvette tubulaire (voir le paragraphe 5.1.3a))

La section A , en millimètres carrés, de l'isolation de chacune des éprouvettes préparées doit être déterminée par l'une des méthodes suivantes:

f) The test pieces numbered 1 and 3 shall be subjected to the determination of the cross-sectional area specified in Sub-clause 5.1.4 and to the conditioning and tensile test specified in Sub-clauses 5.1.6, 5.1.7 and 5.1.8 without an ageing treatment; 2 and 4 shall be subjected to the ageing test in Sub-clause 5.1.5 and after that to the determination of the cross-sectional area specified in Sub-clause 5.1.4 and to the conditioning and tensile test specified in Sub-clauses 5.1.6, 5.1.7 and 5.1.8; 0 and 5 shall be subjected to the tensile test after another ageing treatment if required.

5.1.3 Preparation of test pieces

Test pieces may be of two types: dumb-bell or tubular.

The dumb-bell shall be used whenever possible.

Tubular test pieces cannot be used when there is a semiconducting layer bonded to the inner surface of the insulating wall.

Tubular test pieces shall be used only when the core is of such small size that it is not possible to prepare a dumb-bell piece.

a) Tubular test pieces

A tube not less than 100 mm long shall be obtained by removal of all outer coverings and the conductor, care being taken not to damage the insulation.

If withdrawal of the conductor is difficult, it should be stretched by any suitable means.

A length of 20 mm shall be marked by two lines, centrally on each test piece immediately before the tensile test.

b) Dumb-bell test pieces

The insulation shall be cut open in the direction of the axis and the conductor shall be removed.

Semiconducting layers, if any, inside or/and outside the insulation pieces shall be removed mechanically, i.e. without using a solvent.

The insulation shall be ground or cut so as to obtain two parallel surfaces between the marker lines mentioned below, care being taken to avoid undue heating. After grinding or cutting, the thickness of the test pieces shall be not less than 0.8 mm and not more than 2.0 mm.

Cutting is the only permitted method for PE insulations.

After this preparation, one dumb-bell test piece in accordance with Figure 7, page 99, shall be punched or, if possible, two dumb-bell test pieces shall be punched side by side.

When the diameter of the core is too small, one dumb-bell test piece in accordance with Figure 8, page 99, shall be punched.

A length of 20 mm shall be marked by two lines centrally on each dumb-bell test piece, as indicated in Figure 7, immediately before the tensile test; on the small dumb-bell test piece in Figure 8, the distance between the two marks shall be 10 mm.

5.1.4 Determination of cross-sectional area of insulation

a) Cross-sectional area of the tubular test piece (see Sub-clause 5.1.3a))

The cross-sectional area A , in square millimetres, of the insulation of each of the prepared test pieces shall be determined by one of the following methods:

1. A partir des dimensions de la section, à l'aide de la formule:

$$A = \pi (D - \delta) \delta$$

où:

δ = valeur moyenne de l'épaisseur de l'isolation en millimètres, déterminée comme indiqué dans la méthode d'essais de l'article 4, et arrondie à deux décimales (voir le paragraphe 4.1.5, dernier alinéa)

D = valeur moyenne du diamètre extérieur de l'éprouvette, en millimètres, déterminée comme indiqué dans la méthode d'essais de l'article 4 (paragraphe 4.3.2), et arrondie à deux décimales.

2. A partir de la masse volumique, de la masse et de la longueur, à l'aide de la formule:

$$A = \frac{1\,000\,m}{d \times l}$$

où:

m = masse de l'élément d'isolation, en grammes, avec trois décimales

l = longueur, en millimètres, avec une décimale

d = masse volumique obtenue à partir d'un échantillon supplémentaire de la même enveloppe isolante, en grammes par centimètre cube, avec trois décimales

La masse volumique doit être mesurée sur le matériau avant vieillissement selon la méthode d'essais de l'article 11.

3. En cas de doute, on doit appliquer la méthode 2.

b) Section de l'éprouvette plate en forme d'haltère (voir le paragraphe 5.1.3b))

La section de chacune des éprouvettes en forme d'haltère doit être calculée à partir de la largeur et de la plus petite des trois mesures d'épaisseur effectuées au milieu de la bande (entre les traits de repère).

En cas de doute, on mesure non seulement l'épaisseur mais aussi la largeur en trois points situés entre les traits de repère. Cette largeur est mesurée sur chaque face de l'éprouvette et on prend la moyenne des deux valeurs pour le calcul de la section. On retient la plus petite des sections ainsi obtenues pour le calcul de la résistance à la traction.

Les mesures doivent être effectuées à l'aide d'un micromètre ou d'un instrument analogue dont la pression de contact ne dépasse pas 2 N/cm² pour le butyle et l'EPR, ni 7 N/cm² pour le p.v.c., le PE et le PRC. Les résultats doivent être exprimés en millimètres avec deux décimales.

5.1.5 Traitement de vieillissement pour les éprouvettes numérotées 2 et 4 ((et 0 et 5, si nécessaire))

Les traitements de vieillissement thermique doivent être effectués selon la méthode d'essais de l'article 6 et dans les conditions définies par les prescriptions d'essais de la norme particulière au type de câble considéré.

5.1.6 Conditionnement des éprouvettes vieilles et non vieilles

Toutes les éprouvettes doivent être conservées à une température de 20 ± 5 °C, sauf pour le p.v.c. qui doit être conservé à 23 ± 2 °C, pendant au moins 3 h avant l'essai de traction.

5.1.7 Méthode d'essai pour déterminer les propriétés mécaniques des éprouvettes vieilles et non vieilles

a) Température d'essai

Les essais doivent être effectués à une température de 20 ± 5 °C et chaque essai doit être terminé dans les 5 min qui suivent la sortie de l'éprouvette de la chambre de conditionnement. Pour les enveloppes isolantes au p.v.c., l'essai doit être repris à 23 ± 2 °C en cas de doute.

b) Distance entre les mâchoires et vitesse d'écartement

Les mâchoires de la machine de traction peuvent être du type autoserrant ou non autoserrant, qu'il s'agisse d'éprouvettes plates ou en forme d'haltère ou d'éprouvettes tubulaires.

1. From the dimensions of the section, in accordance with the formula:

$$A = \pi (D - \delta) \delta$$

where:

δ = mean value of the thickness of the insulation, in millimetres, determined as described in the test method in Clause 4, and rounded off to two decimal places (see Sub-clause 4.1.5, last paragraph).

D = mean value of the outer diameter of the test piece, in millimetres, determined as described in the test method in Clause 4 (Sub-clause 4.3.2), and rounded off to two decimal places.

2. From the density, the mass and the length, in accordance with the formula:

$$A = \frac{1\,000\,m}{d \times l}$$

where:

m = mass of the piece of insulation, in grams, to three decimal places

l = length, in millimetres, to one decimal place

d = density obtained from an additional sample of the same insulation, in grams per cubic centimetre, to three decimal places

The density shall be measured on material before ageing, by the test method specified in Clause 11.

3. In case of doubt, method 2 shall be used.

b) Cross-sectional area of the dumb-bell test piece (see Sub-clause 5.1.3b))

The cross-sectional area of each of the dumb-bell test pieces shall be calculated from the width and the smallest thickness of three measurements of the middle portion of the piece (between the marker lines).

In case of doubt, not only the thickness but also the width shall be measured at three points between the marker lines, on both surfaces of the test piece taking the mean of the two values for the calculation of the cross-section. The smallest of the three cross-sections thus found shall be used for the calculation of the tensile strength.

The measurements shall be made by a micrometer or similar instrument producing a contact pressure not exceeding 2 N/cm² for Butyl and EPR, and not more than 7 N/cm² for p.v.c., PE and XLPE. Results shall be expressed in millimetres to two decimal places.

5.1.5 Ageing treatment for the test pieces numbered 2 and 4 (and, if required, 0 and 5)

The thermal ageing treatments shall be carried out in accordance with the test method in Clause 6 and with the conditions specified in the test requirements in the relevant cable standard.

5.1.6 Conditioning of the aged and unaged test pieces

All test pieces shall be kept for at least 3 h before the tensile test at a temperature of 20 ± 5 °C, except for p.v.c. insulation which shall be kept at 23 ± 2 °C.

5.1.7 Test procedure for mechanical properties of unaged and aged test pieces

a) Test temperature

The tests shall be carried out at a temperature of 20 ± 5 °C and each test shall be completed within 5 min of the removal of the test piece from the conditioning chamber. In case of doubt for p.v.c. insulation, the test shall be repeated at 23 ± 2 °C.

b) Distance between the grips and rate of separation

The grips of the tensile machine may be either of a self-tightening type or non-self-tightening type for both dumb-bell and tubular test pieces.

La longueur totale entre les mâchoires doit être voisine de:

- 34 mm pour les haltères représentés à la figure 8, page 99;
- 50 mm pour les haltères représentés à la figure 7, page 99;
- 50 mm pour les tubes essayés avec mâchoires autoserrantes;
- 85 mm pour les tubes essayés avec mâchoires non autoserrantes.

La vitesse d'écartement doit être de 250 ± 50 mm/min dans tous les cas, sauf pour le polyéthylène de masse volumique supérieure à $0,925$ g/cm³ à 23 °C.

En cas de doute, la vitesse d'écartement des mâchoires doit être telle que l'allongement de l'éprouvette entre les traits de repère soit de 600 %/min.

Pour le polyéthylène de masse volumique supérieure à $0,925$ g/cm³ à 23 °C, la vitesse d'écartement doit être de 25 ± 5 mm/min.

Si la masse volumique d'un composé polyéthylénique à base d'un polymère ayant une masse volumique au plus égale à $0,925$ g/cm³ à 23 °C dépasse cette valeur par suite de l'addition de charges, le fabricant peut effectuer l'essai, s'il le désire, à la vitesse d'écartement plus élevée.

c) Mesures

La résistance à la traction et l'allongement à la rupture sont déterminés simultanément sur la même éprouvette.

L'allongement doit être déterminé par mesure de la distance entre les deux traits de repère à la rupture.

On ne doit pas tenir compte des mauvais résultats obtenus avec des éprouvettes rompues à la suite d'une détérioration causée par les mâchoires; dans ce cas, il est nécessaire d'obtenir au moins quatre résultats valables pour calculer la résistance à la traction et l'allongement à la rupture, sinon l'essai doit être répété.

5.1.8 Expression des résultats

Pour le calcul de la résistance à la traction, on rapporte toutes les charges de rupture à la section de l'éprouvette non étirée. On prend comme valeur de la résistance à la traction et d'allongement à la rupture les médianes des valeurs obtenues pour ces deux caractéristiques.

5.2 Mélanges pour gaines

5.2.1 Généralités

Les essais consistent à déterminer la résistance à la traction et l'allongement à la rupture du matériau constituant les gaines prélevées sur des tronçons de câble dans les conditions suivantes:

- a) à l'état de réception (c'est-à-dire sans traitement de vieillissement);
- b) après un traitement de vieillissement accéléré;
- c) après un autre traitement de vieillissement, différent de b), si nécessaire.

Les essais de traction et d'allongement à la rupture sont effectués sur les éprouvettes non vieilles en même temps que sur les éprouvettes vieilles.

5.2.2 Echantillonnage

a) Trois échantillons de câble rigide ou souple à essayer sont prélevés, chacun étant espacé d'au moins 1 m des deux autres. Chaque échantillon, d'au moins 600 mm de longueur, doit être coupé en six tronçons ayant chacun une longueur d'environ 100 mm. Deux des tronçons doivent être utilisés pour chacun des essais a), b) et c), de sorte que chacun de ces essais s'effectue sur six petits tronçons de câble.

S'il est possible de prélever deux éprouvettes sur la circonférence de la gaine, l'échantillon doit avoir 400 mm de longueur et doit être coupé en quatre petits tronçons (de 100 mm de longueur environ chacun).

b) Si les échantillons de câbles sont prélevés en trois points x, y et z, leurs petits tronçons seront marqués consécutivement:

$X_0, X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$

$Y_0, Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5$

$Z_0, Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5$

The total length between the grips shall be about:

- 34 mm for dumb-bells illustrated in Figure 8, page 99;
- 50 mm for dumb-bells illustrated in Figure 7, page 99;
- 50 mm for tubes, if tested with self-tightening grips;
- 85 mm for tubes, if tested with non-self-tightening grips.

The rate of separation, except for polyethylene of a density higher than 0.925 g/cm³ at 23 °C, shall be 250 ± 50 mm/min in all cases.

In case of doubt, the separation of the grips shall be such that the relative rate of elongation of the test piece between the marker lines is about 600 %/min.

For polyethylene of a density higher than 0.925 g/cm³ at 23 °C, the rate of separation shall be 25 ± 5 mm/min.

Should the density of a polyethylene compound based on a polymer having a density equal to or less than 0.925 g/cm³ at 23 °C exceed this figure because of the addition of fillers, then the manufacturer may, at his discretion, test at the higher rate of separation.

c) Measurements

The tensile strength and the elongation at break shall be determined simultaneously on the same test piece.

The elongation shall be determined by measuring the distance between the two marker lines at rupture.

An unsatisfactory result due to any test piece breaking due to damage in the grips shall be ignored; in this case, at least four valid results shall be obtained in order to calculate the tensile strength and elongation at break; otherwise, the test shall be repeated.

5.1.8 Expression of results

All breaking loads shall be referred to the cross-sectional area of the unstretched test piece for calculation of tensile strength. The values recorded as the tensile strength and elongation at break shall be the median values of the results for each property.

5.2 Sheathing compounds

5.2.1 General

The tests shall determine the tensile strength and elongation at break of sheathing material taken from pieces of cable in the following conditions:

- a) as received (i.e. without any ageing treatment);
- b) after an accelerated ageing treatment,
- c) after another ageing treatment, different from b), if required.

The test of tensile strength and elongation at break with the unaged pieces shall be made at the same time as the test with the aged pieces.

5.2.2 Sampling

a) Three samples of cable or cord to be tested shall be taken, each not less than 1 m away from the other two. Each sample, at least 600 mm long, shall be cut into six pieces, the length of each piece being about 100 mm. Two of these shall be used for each of the tests a), b) and c), so that six small pieces of cable are provided for each of these tests.

If it is possible to take two test pieces from the circumference of the sheath, the sample shall be 400 mm long and shall be cut into four small pieces each about 100 mm long.

b) If the samples of cable are taken from the three places x, y and z, the small core pieces shall be marked consecutively:

X₀, X₁, X₂, X₃, X₄, X₅
Y₀, Y₁, Y₂, Y₃, Y₄, Y₅
Z₀, Z₁, Z₂, Z₃, Z₄, Z₅

Dans le cas de deux éprouvettes prélevées sur la circonférence de la gaine, le numérotage est le suivant pour le point x :

X_0	X_1	X_4	X_5
	X_2	X_3	

Le mode opératoire doit être le même pour les petits tronçons prélevés aux points y et z.

c) S'il n'est pas prescrit un deuxième traitement de vieillissement, chaque échantillon d'au moins 400 mm de longueur doit être coupé en quatre petits tronçons numérotés de 1 à 4.

d) Le numérotage des petits tronçons, et des éprouvettes qui seront préparées à partir de ces tronçons, doit correspondre à leurs emplacements d'origine sur l'échantillon de câble.

e) On prépare toutes les éprouvettes selon le paragraphe 5.2.3.

f) Les éprouvettes numérotées 1 et 3 doivent être soumises à la détermination de la section selon le paragraphe 5.2.4, puis au conditionnement et à l'essai de résistance à la traction des paragraphes 5.2.6, 5.2.7 et 5.2.8, sans traitement de vieillissement préalable; les éprouvettes 2 et 4 doivent être soumises au traitement de vieillissement décrit au paragraphe 6.2.5; puis à la détermination de la section selon le paragraphe 5.2.4, et enfin au conditionnement et à l'essai de résistance à la traction selon les paragraphes 5.2.6, 5.2.7 et 5.2.8; les éprouvettes 0 et 5 doivent être soumises à l'essai de résistance à la traction après un autre traitement de vieillissement, si nécessaire.

5.2.3 Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes peuvent être de deux types: en forme d'haltère ou de forme tubulaire.

Les éprouvettes plates en forme d'haltère doivent être utilisées chaque fois que cela est possible.

Les éprouvettes tubulaires ne doivent être utilisées que pour les câbles dont le diamètre est si petit qu'il est impossible de découper des éprouvettes en forme d'haltère.

a) *Éprouvettes tubulaires*

On prépare un tube d'au moins 100 mm de longueur en retirant tous les revêtements extérieurs, conducteurs, revêtements intérieurs et bourrages, etc., et en prenant soin de ne pas endommager la gaine.

On délimite une longueur de 20 mm à l'aide de deux traits de repère tracés sur la partie centrale de chaque éprouvette, aussitôt avant l'essai de traction.

b) *Éprouvettes plates en forme d'haltère*

Après avoir retiré tous les revêtements extérieurs, la gaine doit être fendue parallèlement à l'axe du câble ou s'il y a des empreintes dues aux conducteurs isolés, en la fendant dans le sens des empreintes; on retire le (ou les) conducteur(s) isolé(s), les revêtements intérieurs, l'armure, etc., et les bourrages (s'il en existe).

Les gaines avec des empreintes et, si nécessaire, les gaines sans empreintes doivent être meulées ou coupées de manière à obtenir deux surfaces parallèles dans la partie comprise entre les traits de repère mentionnés ci-après, en veillant à éviter un échauffement excessif. Après le meulage ou la coupe, l'épaisseur des haltères ne doit pas être inférieure à 0,8 mm, ni supérieure à 2,0 mm.

La coupe est la seule méthode permise pour les gaines au PE.

Après cette préparation, on découpe un haltère conforme à la figure 7, page 99, ou à la figure 8, page 99, ou, si c'est possible, on découpe deux haltères côte à côte.

On délimite immédiatement avant l'essai de traction, par deux traits de repère, une longueur de 20 mm sur la partie centrale de chaque éprouvette en forme d'haltère conformément à la figure 7; une distance de 10 mm doit être marquée sur chaque éprouvette en forme d'haltère conformément à la figure 8.

When two test pieces are taken from the circumference of the sheath, the numbering for place x shall be:

X_0	X_1	X_4	X_5
	X_2	X_3	

The procedure shall be similar for the small pieces taken from y and z.

- c) If a second ageing treatment is not required, each sample, at least 400 mm long, shall be cut into four small pieces, and numbered 1 to 4.
- d) The numbering of the small pieces, and of the test pieces which will be prepared therefrom, shall correspond to their original places in the sample of cable.
- e) All the small pieces shall be subjected to the preparation according to Sub-clause 5.2.3.
- f) The test pieces numbered 1 and 3 shall be subjected to the determination of the cross-sectional area specified in Sub-clause 5.2.4 and to the conditioning and tensile test specified in Sub-clauses 5.2.6, 5.2.7, and 5.2.8 without an ageing treatment; 2 and 4 shall be subjected to the ageing test of Sub-clause 5.2.5 and after that to the determination of the cross-sectional area specified in Sub-clause 5.2.4 and the conditioning and tensile test specified in Sub-clauses 5.2.6, 5.2.7 and 5.2.8; 0 and 5 shall be subjected to the tensile test after another ageing treatment if this is required.

5.2.3 Preparation of test pieces

Test pieces may be of two types: dumb-bell or tubular.

The dumb-bell shall be used whenever possible.

Tubular test pieces shall be used only when the cable is of such small size that it is not possible to prepare a dumb-bell test piece.

a) Tubular test pieces

A tube not less than 100 mm long shall be obtained by removal of all outer covering, core(s), inner covering and fillers, etc. (if any), care being taken not to damage the sheath.

A length of 20 mm shall be marked by two lines, centrally on each piece, immediately before the tensile test.

b) Dumb-bell test pieces

After all outer coverings have been removed, the sheath shall be cut open in the direction of the axis of the cable or cord, or, if there are ridges caused by the cores, in the direction of the ridges; the core(s), inner covering, armour, etc., and fillers (if any) shall then be removed.

Sheaths with ridges and, if necessary, sheaths without ridges shall be ground or cut so as to obtain two parallel surfaces, between the marker lines mentioned below, care being taken to avoid undue heating. After grinding or cutting, the thickness of the pieces shall be not less than 0.8 mm and not more than 2.0 mm.

Cutting is the only permitted method for PE sheaths.

After this preparation, one dumb-bell in accordance with either Figure 7 or Figure 8, page 99, shall be punched or, if possible, two dumb-bells shall be punched side by side.

Immediately before the tensile test, a length of 20 mm shall be marked by two lines, centrally on each dumb-bell in accordance with Figure 7; a length of 10 mm shall be similarly marked on each dumb-bell in accordance with Figure 8.

5.2.4 Détermination de la section de la gaine

a) Section de l'éprouvette tubulaire (voir le paragraphe 5.2.3a))

La section A , en millimètres carrés, de chaque éprouvette doit être déterminée par l'une des méthodes suivantes:

1. A partir des dimensions de la section, à l'aide de la formule:

$$A = \pi (D - \delta) \delta$$

où:

δ = valeur moyenne de l'épaisseur de la gaine, en millimètres, avec deux décimales, déterminée comme indiqué dans la méthode d'essais de l'article 4 (voir le paragraphe 4.2.5, dernier alinéa)

D = valeur moyenne du diamètre extérieur de la gaine, en millimètres, avec deux décimales, déterminée comme indiqué dans la méthode d'essais de l'article 4 (voir le paragraphe 4.3.2)

2. A partir de la masse volumique, de la masse et de la longueur, à l'aide de la formule:

$$A = \frac{1\,000\,m}{d \times l}$$

où:

m = masse du tronçon de gaine, en grammes, avec trois décimales

l = longueur, en millimètres, avec une décimale

d = masse volumique obtenue à partir d'un échantillon supplémentaire de la même gaine, en grammes par centimètre cube, avec trois décimales, déterminée conformément à la méthode d'essais de l'article 11

La masse volumique doit être mesurée sur le matériau avant vieillissement.

3. Les méthodes 1 et 2 peuvent être utilisées avec les gaines sans empreintes, mais en cas de litige, on doit appliquer la méthode 2.

La section A , en millimètres carrés, d'une gaine avec empreintes doit être déterminée par la méthode 2.

b) Section de l'éprouvette plate en forme d'haltère (voir le paragraphe 5.2.3b))

La section des éprouvettes en forme d'haltère doit être déterminée par la méthode décrite au paragraphe 5.1.4b) de la même façon que pour les éprouvettes d'enveloppes isolantes, mais en utilisant un instrument exerçant une pression de contact ne dépassant pas 7 N/cm² pour tous les matériaux de gaines.

5.2.5 Traitement de vieillissement pour les éprouvettes numérotées 2 et 4 (et 0 et 5, si nécessaire)

Se conformer au paragraphe 5.1.5.

5.2.6 Conditionnement des éprouvettes vieilles et non vieilles

Se conformer au paragraphe 5.1.6.

5.2.7 Méthode d'essai

Se conformer au paragraphe 5.1.7.

5.2.8 Expression des résultats

Se conformer au paragraphe 5.1.8.

5.2.4 Determination of cross-sectional area of sheath

a) Cross-sectional area of the tubular test piece (see Sub-clause 5.2.3a))

The cross-sectional area A , in square millimetres, of each test piece shall be determined by one of the following methods:

1. From the dimensions of the section, in accordance with the formula:

$$A = \pi (D - \delta) \delta$$

where:

δ = mean value of the thickness of the sheath, in millimetres, to two decimal places, determined as described in the test method in Clause 4 (see Sub-clause 4.2.5, last paragraph)

D = mean value of the outer diameter of the sheath, in millimetres, to two decimal places, determined as described in the test method in Clause 4 (see Sub-clause 4.3.2)

2. From the density, the mass and the length, in accordance with the formula:

$$A = \frac{1\,000\,m}{d \times l}$$

where:

m = mass of the piece of sheath, in grams, to three decimal places

l = length, in millimetres, to one decimal place

d = density obtained from an additional sample of the same sheath, in grams per cubic centimetre, to three decimal places, determined as described in the test method in Clause 11

The density shall be measured on material before ageing.

3. Both methods 1 and 2 may be used for sheaths without ridges, but in case of dispute, method 2 shall be used.

For sheaths with ridges, the cross-sectional area A shall be determined by method 2.

b) Cross-sectional area of the dumb-bell test piece (see Sub-clause 5.2.3b))

The cross-sectional area of dumb-bell test pieces shall be determined in accordance with Sub-clause 5.1.4b), in the same way as for dumb-bells of insulation, but the contact pressure of the measuring instrument shall not exceed 7 N/cm² for all sheathing materials.

5.2.5 Ageing treatment for the test pieces numbered 2 and 4 (and, if required, 0 and 5)

In accordance with Sub-clause 5.1.5.

5.2.6 Conditioning of the aged and unaged test pieces

In accordance with Sub-clause 5.1.6.

5.2.7 Test procedure

In accordance with Sub-clause 5.1.7.

5.2.8 Expression of results

In accordance with Sub-clause 5.1.8.

6. Méthodes de vieillissement thermique

6.1 Vieillissement en étuve à air

6.1.1 Préambule

Un traitement de vieillissement en étuve à air peut être prescrit par une norme particulière de câble :

- a) sur éprouvettes préparées (voir le paragraphe 6.1.3);
- b) sur tronçons de câbles terminés (voir le paragraphe 6.1.4);
- c) pour l'essai de perte de masse (voir la méthode d'essais de l'article 7).

Quand cela est possible, on peut effectuer sur les mêmes éprouvettes l'essai de vieillissement a) et l'essai de perte de masse c).

6.1.2 Matériel

Etuve à air chaud avec circulation d'air, naturelle ou sous pression. L'air doit entrer dans l'étuve de telle façon qu'il passe sur la surface des échantillons et qu'il sorte de l'étuve au voisinage de son sommet. L'air contenu dans l'étuve doit être renouvelé complètement au moins 8 fois et au plus 20 fois par heure à la température de vieillissement prescrite.

Le paragraphe 6.4 donne deux méthodes de mesure du débit d'air circulant dans une étuve.

L'emploi d'un ventilateur à l'intérieur de l'étuve est prohibé.

6.1.3 Mode opératoire pour éprouvettes préparées

On procède à un essai de vieillissement accéléré dans une atmosphère ayant la composition et la pression de l'air ambiant.

- a) Avant de les mettre en étuve, on prépare les éprouvettes comme indiqué aux paragraphes 5.1.3a) et b).
- b) Les éprouvettes doivent être maintenues dans l'étuve à air chaud à la température et pendant la durée prescrites pour le matériau dans la norme particulière au type de câble considéré.
- c) Des mélanges de compositions nettement différentes ne doivent pas être essayés simultanément.

Les éprouvettes doivent être suspendues verticalement et pratiquement au milieu de l'étuve, chaque pièce étant séparée de toute autre pièce d'au moins 20 mm.

Les éprouvettes ne doivent pas occuper plus de 0,5 % du volume de l'étuve.

- d) Aussitôt après la période de vieillissement, on retire les éprouvettes de l'étuve et on les laisse, pendant au moins 16 h, à la température ambiante, en évitant la lumière solaire directe.

6.1.4 Mode opératoire pour tronçons de câbles complets

- a) Trois petits tronçons de câble complet, d'environ 200 mm de longueur, sont prélevés chacun à 100 mm au moins des deux autres. Ils sont mis dans l'étuve à air chaud (voir le paragraphe 6.1.2) et maintenus à la température et pendant la durée prescrites dans la norme particulière au type de câble considéré.

- b) Les tronçons de câble ne doivent pas occuper plus de 2 % du volume de l'étuve. Ils doivent être suspendus verticalement et pratiquement au milieu de l'étuve, chacun étant séparé de tout autre tronçon d'au moins 20 mm.

- c) Aussitôt après la période de vieillissement, on retire les tronçons de l'étuve et on les laisse pendant au moins 16 h, à la température ambiante, en évitant la lumière solaire directe.

- d) Ensuite, les trois tronçons de câble marqués x', y' et z' sont séparés en gaines et conducteurs isolés pour la préparation des éprouvettes de la manière suivante:

6. Thermal ageing methods

6.1 Ageing in an air oven

6.1.1 General

An ageing treatment in an air oven may be required by the relevant cable standard:

- a) for prepared test pieces (see Sub-clause 6.1.3);
- b) for pieces of completed cables (see Sub-clause 6.1.4);
- c) for the loss of mass test (see test method in Clause 7).

If possible, the ageing test a) and the loss of mass test c) may be combined and carried out on the same test pieces.

6.1.2 Equipment

An oven with natural air flow or air flow by pressure. The air shall enter the oven in such a way that it flows over the surface of the samples and leaves near the top of the oven. The oven shall have not less than 8 and not more than 20 complete air changes per hour at the specified ageing temperature.

Two methods for measuring the rate of air flow through an oven are given in Sub-clause 6.4.

A rotating fan shall not be used inside the oven.

6.1.3 Procedure for prepared test pieces

An accelerated ageing test shall be made in an atmosphere having the composition and pressure of the ambient air.

- a) After preparation in accordance with Sub-clauses 5.1.3a) and b), the test pieces shall be placed in the oven.
- b) The test pieces shall be kept in the oven at the temperature and for the time specified for the material in the relevant cable standard.
- c) Compounds of substantially different composition shall not be tested at the same time.

The test pieces shall be suspended vertically and substantially in the middle of the oven so that each piece is at least 20 mm from any other piece.

The test pieces shall not take up more than 0.5% of the volume of the oven.

- d) Immediately after the ageing period, the test pieces shall be taken out of the oven and left at ambient temperature, avoiding direct sunlight, for at least 16 h.

6.1.4 Procedure for pieces of completed cables

- a) Three small pieces of completed cable about 200 mm long, taken each at least 100 mm away from the other two, shall be placed into the oven (see Sub-clause 6.1.2) and kept therein at the temperature and for the time specified in the relevant cable standard.
- b) The cable pieces shall not take up more than 2% of the volume of the oven. They shall be suspended vertically and substantially in the middle of the oven at least 20 mm away from one another.
- c) Immediately at the completion of the specified heating period, the cable pieces shall be taken out of the oven and left at ambient temperature, avoiding direct sunlight, for at least 16 h.
- d) Thereafter, the three cable pieces marked x', y' and z' shall be dismantled into sheaths and cores for the preparation of the test pieces, as follows:

1. On coupe chaque tronçon de conducteur isolé en deux parties et on obtient, par suite, six tronçons qui sont marqués :

$$x'_2, x'_4, y'_2, y'_4, z'_2, z'_4$$

(voir le paragraphe 5.1.2d)).

A partir de ces tronçons, on prépare six éprouvettes (marquées pareillement) conformément au paragraphe 5.1.3 ces éprouvettes, dont la section est déterminée selon le paragraphe 5.1.4, sont ensuite conditionnées et essayées selon les paragraphes 5.1.6, 5.1.7 et 5.1.8.

2. De la même manière, on prépare six éprouvettes de gaine conformément au paragraphe 5.2.3. Ces éprouvettes, dont la section est déterminée selon le paragraphe 5.2.4, sont ensuite conditionnées et essayées selon les paragraphes 5.2.6, 5.2.7 et 5.2.8.

3. S'il est nécessaire de couper ou de meuler les éprouvettes afin de réduire leur épaisseur à 2 mm au maximum (voir les paragraphes 5.1.3b) et 5.2.3b)), on doit effectuer la coupe ou le meulage sur la face opposée au matériau de type différent.

S'il est nécessaire de couper ou de meuler des empreintes sur la face en regard du matériau de type différent, le matériau éliminé doit être limité au minimum nécessaire pour l'obtention d'une surface lisse.

6.2 Vieillessement dans la bombe à air

6.2.1 Matériel

Bombe à air chauffée de manière appropriée.

6.2.2 Mode opératoire

L'essai de vieillissement s'effectue dans une atmosphère d'air sous pression.

a) Avant de les mettre dans la bombe, on prépare les éprouvettes et on détermine leur section comme indiqué aux paragraphes 5.1.3 et 5.1.4.

b) On place les éprouvettes dans la bombe sans qu'elles se touchent. On ne doit pas faire vieillir en même temps des éprouvettes de composition différente. L'espace total occupé par les éprouvettes ne doit pas dépasser un dixième de la capacité effective de la bombe.

On remplit la bombe d'un air exempt d'huile et d'humidité, en portant la pression à 55 ± 2 N/cm².

c) Les éprouvettes doivent être maintenues dans la bombe pendant la durée et à la température indiquées dans la norme particulière au type de câble considéré. La température doit être normalement de 127 ± 1 °C.

d) La période de vieillissement terminée, on laisse tomber progressivement la pression, en 5 min au moins, jusqu'à la pression atmosphérique, afin d'éviter la formation de porosités dans les éprouvettes. On retire ensuite les éprouvettes de la bombe et on les refroidit pendant au moins 16 h, à la température ambiante, en évitant la lumière solaire directe.

6.3 Vieillessement dans la bombe à oxygène

6.3.1 Matériel

Bombe à oxygène chauffée de manière appropriée.

6.3.2 Mode opératoire

L'essai de vieillissement se fait dans une atmosphère d'oxygène sous pression.

a) Les éprouvettes sont constituées soit par des éprouvettes tubulaires comme indiqué au paragraphe 5.1.3a), soit par des lames d'épaisseur comprise entre 0,8 mm et 2 mm, découpées dans l'enveloppe isolante ou la gaine.

Each core piece shall be cut into two parts, thus obtaining six core pieces, which shall be marked:

$$X'_{2s}, X'_{4s}, Y'_{2s}, Y'_{4s}, Z'_{2s}, Z'_{4s}$$

(see Sub-clause 5.1.2d)).

From these, six test pieces (similarly marked) shall be prepared in the way specified in Sub-clause 5.1.3, subjected to determination of the cross-sectional area (Sub-clause 5.1.4) and then conditioned and tested as specified in Sub-clauses 5.1.6, 5.1.7 and 5.1.8.

2. Similarly, six test pieces shall be prepared from the sheath in the way specified in Sub-clause 5.2.3, subjected to determination of the cross-sectional area (Sub-clause 5.2.4) and then conditioned and tested as specified in Sub-clauses 5.2.6, 5.2.7 and 5.2.8.

3. If the test pieces need to be cut or ground in order to reduce their thickness to not more than 2 mm (see Sub-clauses 5.1.3b) and 5.2.3b), the cutting or grinding shall be effected on the side not facing the material of a different type.

If ridges must be cut or ground on the side facing the material of a different type, the material removed shall be the minimum compatible with adequate smoothing.

6.2 Ageing in an air bomb

6.2.1 Equipment

A suitably heated air bomb.

6.2.2 Procedure

The ageing test shall be made in an atmosphere of air under pressure.

a) Before being placed into the bomb, the test pieces shall be subjected to the preparation and determination of cross-sectional area as specified in Sub-clauses 5.1.3 and 5.1.4.

b) The test pieces shall be placed in the bomb without touching each other. Test pieces of different material composition shall not be aged at the same time. The total space occupied by the test pieces shall not exceed one-tenth of the effective capacity of the bomb.

The bomb shall be filled with air, which shall be free from oil and moisture, up to a pressure of 55 ± 2 N/cm².

c) The test pieces shall be kept in the bomb for the time and at the temperature specified in the relevant cable standard. The temperature shall normally be 127 ± 1 °C.

d) After completion of the ageing period, the pressure should be released gradually so as to reach atmospheric pressure in not less than 5 min, in order to avoid formation of porosity in the test pieces. The test pieces shall then be removed from the bomb and cooled down to ambient temperature, for at least 16 h, and avoiding direct sunlight.

6.3 Ageing in an oxygen bomb

6.3.1 Equipment

A suitably heated oxygen bomb.

6.3.2 Procedure

The ageing tests shall be made in an atmosphere of oxygen under pressure.

a) The test pieces shall be either tubular test pieces as described in Sub-clause 5.1.3a) or flat slices cut from the insulation or sheath, the thickness of which shall be between 0.8 mm and 2 mm.

b) Elles doivent être placées dans la bombe sans se toucher. Des éprouvettes ou des échantillons de mélanges différents ne doivent pas être essayés ensemble.

L'espace total occupé par les éprouvettes ou les échantillons ne doit pas dépasser un dixième de la capacité effective de la bombe.

La bombe doit être remplie d'oxygène commercial, d'une pureté de 97 % au moins, à la pression de $2\,100 \pm 70$ kPa.

c) Les éprouvettes ou les échantillons doivent être maintenus dans la bombe pendant la durée et à la température indiquées pour le matériau dans la norme particulière au type de câble considéré.

d) La période de vieillissement terminée, on laisse tomber graduellement la pression, en 5 min au moins, jusqu'à la pression atmosphérique, afin d'éviter la formation de porosités dans les échantillons ou les éprouvettes.

On retire ensuite les éprouvettes ou les échantillons de la bombe et on les refroidit, pendant au moins 16 h, à la température ambiante, en évitant la lumière solaire directe.

6.4 Méthodes de mesure du débit d'air dans les étuves

6.4.1 Méthode 1 — Méthode indirecte ou méthode de la consommation de puissance

a) Dans cette méthode, le surplus de puissance nécessaire pour maintenir l'étuve à une température donnée avec ses ouvertures de ventilation ouvertes, par rapport à la puissance nécessaire pour maintenir l'étuve à la même température avec ses ouvertures fermées, est utilisé comme mesure de la quantité d'air traversant l'étuve lorsque les ouvertures sont ouvertes. La puissance moyenne (P_1 watts) nécessaire pour maintenir la température de l'étuve à la température de vieillissement prescrite, lorsque les ouvertures de ventilation sont ouvertes, est déterminée pendant une période de 30 min ou plus. Les ouvertures de ventilation (et, si nécessaire, l'ouverture pour le thermomètre) sont alors fermées et la puissance moyenne (P_2 watts) nécessaire pour maintenir la même température pendant la même durée est déterminée. Il est essentiel que la différence entre la température de l'étuve et la température ambiante soit, à 0,2 °C près, la même pour les deux essais. La température ambiante devra être mesurée en un point situé à 1,8 m de l'étuve, approximativement au niveau de sa base, et à une distance d'au moins 0,6 m de tout objet solide.

b) La quantité d'air traversant l'étuve, lorsque ses ouvertures de ventilation sont ouvertes, est donnée par les formules:

$$m = \frac{P_1 - P_2}{C_p (t_2 - t_1)} \quad (1)$$

$$V = \frac{3\,600\,m}{d} \quad (2)$$

où:

C_p = chaleur spécifique de l'air à pression constante (1,003 J/g)

t_1 = température ambiante, en degrés Celsius

t_2 = température de l'étuve, en degrés Celsius

$P_1 - P_2$ = différence de consommation de puissance, comme défini au premier alinéa

m = masse de l'air, en grammes par seconde

V = volume de l'air, en litres par heure

d = masse volumique de l'air dans le laboratoire au moment de l'essai, en grammes par litre

Note. — La masse volumique de l'air à 760 mmHg et à 20 °C est de 1,205 g/l.

Donc:

$$V = \frac{3\,600 (P_1 - P_2)}{1,003\,d (t_2 - t_1)} \quad \text{ou} \quad V = \frac{3\,590 (P_1 - P_2)}{d (t_2 - t_1)}$$

b) They shall be placed in the bomb without touching each other. Test pieces or samples of different compounds shall not be tested together.

The total space occupied by the test pieces or samples shall not exceed one-tenth of the effective capacity of the bomb.

The bomb shall be filled with commercial oxygen not less than 97% pure to a pressure of $2\,100 \pm 70$ kPa.

c) The test pieces or samples shall be kept in the bomb at a temperature and for the time specified for the material in the relevant cable standard.

d) After completion of the ageing period, the pressure shall be released gradually so as to reach atmospheric pressure in not less than 5 min, in order to avoid formation of porosity in the samples or test pieces.

The test pieces or samples shall then be removed from the bomb and cooled down to ambient temperature, avoiding direct sunlight, for at least 16 h.

6.4 Methods of measuring air flow in ovens

6.4.1 Method 1—Indirect or power consumption method

a) In this method, the additional power required to maintain the oven at a given temperature with its ports open, over that required to maintain the oven at the same temperature with its ports closed, is used as a measure of the quantity of air passing through the oven when the ports are open. The average power (P_1 watts) required to maintain the oven temperature at the specified ageing temperature when the ports are open is determined over a period of 30 min or longer. The ventilation ports (and, if necessary, the thermometer aperture) are then closed and the average power (P_2 watts) to maintain the same temperature over a similar period is determined. It is essential that the difference between the oven temperature and the ambient temperature should be the same for the two tests to within 0.2°C . The ambient temperature should be measured at a point 1.8 m from the oven, approximately level with its base, and at least 0.6 m from any solid objects.

b) The amount of air passing through the oven when the ports are open is given by the formulae:

$$m = \frac{P_1 - P_2}{C_p (t_2 - t_1)} \quad (1)$$

$$V = \frac{3\,600\,m}{d} \quad (2)$$

where:

C_p = specific heat of air at constant pressure (1.003 J/g)

t_1 = ambient temperature, in degrees Celsius

t_2 = oven temperature, in degrees Celsius

$P_1 - P_2$ = difference in power consumption, as defined in the first paragraph

m = mass of air, in grams per second

V = volume of air, in litres per hour

d = density of air in the laboratory at the time of test, in grams per litre

Note. — The density of air at 760 mmHg and 20°C is 1.205 g/l.

Hence:

$$V = \frac{3\,600 (P_1 - P_2)}{1.003\,d (t_2 - t_1)} \quad \text{or} \quad V = \frac{3\,590 (P_1 - P_2)}{d (t_2 - t_1)}$$

Cette formule suppose que, quand les ouvertures sont fermées, l'air ne traverse pas l'étuve. Pour cette raison, il ne doit pas y avoir de fuites; le joint d'étanchéité de la porte devra être scellé au moyen d'un ruban adhésif et toutes les ouvertures, y compris la fenêtre d'entrée, devront être fermées de façon efficace.

c) Si l'on utilise un wattmètre pour mesurer la puissance consommée, le temps total en secondes, pendant lequel les éléments chauffants de l'étuve sont en circuit doit être mesuré avec un compte-secondes et la lecture du wattmètre doit être faite une fois pendant chaque période de mise en circuit. La moyenne des lectures, en watts, multipliée par le temps total enregistré par le compte-secondes et divisée par la durée de l'essai, en secondes, est prise comme puissance, en watts, nécessaire pour maintenir une température constante.

d) Si l'on utilise un watt-heuremètre ou un kilowatt-heuremètre, la lecture de la consommation totale d'énergie enregistrée par l'appareil doit être divisée par la durée de l'essai mesurée comme fraction d'une heure. Si l'on utilise un kilowatt-heuremètre à usage domestique, les unités de cadran sont trop grandes pour permettre d'obtenir une précision suffisante pour une période d'essai raisonnablement courte et on doit alors se servir du disque de rotation de ces appareils pour indiquer la consommation d'énergie. L'appareil doit fonctionner jusqu'à ce que la marque du disque se trouve en face du centre de la vitre; ensuite, il doit être déconnecté jusqu'au commencement de l'essai.

Afin de réduire l'erreur possible, on doit prendre une période d'essai suffisamment longue pour permettre environ 100 tours du disque, et il est préférable d'arrêter l'essai lorsque la marque du disque est visible. Si la marque n'est cependant pas visible à la fin de l'essai, on ajoute une fraction de tour estimée. L'essai doit être commencé et terminé aux points correspondants des positions « fermée et ouverte » du cycle de chauffage (c'est-à-dire au moment où les éléments chauffants sont enclenchés par le thermostat).

6.4.2 Méthode 2 — Méthode directe et continue

Description du matériel

En partant de la source d'air comprimé, c'est-à-dire d'une canalisation ou de bouteilles d'air:

a) Régulateur de pression

Dispositif destiné à ramener la pression d'alimentation d'un nombre élevé d'atmosphères aux faibles valeurs de pression nécessaires à l'alimentation de l'étuve.

Il est pourvu d'une soupape réglable qui assure l'écoulement à pression constante.

b) Débitmètre

Appareil permettant de mesurer le débit d'air. Il est représenté par la figure 9, page 100, et fonctionne sur un principe manométrique, avec:

1. Un tube capillaire étalonné, ayant un diamètre intérieur étalonné d'environ 2 mm et une longueur étalonnée d'environ 70 mm. La figure 10, page 101, donne un diagramme type d'étalonnage, lequel permet le contrôle du débit d'air jusqu'à 500 litres/h ou 600 litres/h.
2. Un tube manométrique avec une double échelle de différence de pression comprise entre 0 et ± 300 mm d'eau. Le liquide manométrique est de l'eau distillée.

c) Etuve à air

Etuve à air ordinaire, à employer après en avoir bien assuré l'étanchéité, en particulier celle du tube d'alimentation qui doit de préférence pénétrer dans l'étuve par le fond. L'ouverture de sortie qui devrait être au sommet de l'étuve doit être le seul orifice ouvert.

Note. — Les deux points suivants facilitent la fiabilité de la méthode et du matériel.

- a) Le débitmètre décrit ci-dessus peut être considéré comme parfaitement sûr, facile à construire et à étalonner, ainsi qu'approprié à la gamme des débits d'air mis en jeu.
- b) Comme le montrent les essais, l'adoption de la ventilation légèrement « forcée » ne modifie pas, dans la pratique, l'uniformité de la température aux différents points des étuves.

This formula assumes that, when the ports are closed, no air passes through the oven. Therefore, there shall be no leakages; the door joint should be sealed with adhesive tape and all apertures, including the inlet port, should be effectively closed.

c) If the power consumption is measured with a wattmeter, the total length of time, in seconds, for which the oven heaters are “on” shall be measured with a stop-watch and the reading of the wattmeter shall be taken once during each “on” period. The average of the wattage readings multiplied by the total time registered by the stop-watch and divided by the duration of the test, in seconds, is taken as the power, in watts, required to maintain constant temperature.

d) If a watt-hour or kilowatt-hour meter is used, the reading of the total energy consumption registered by the meter shall be divided by the duration of the test, measured as a fraction of an hour. If a household kilowatt-hour meter is used, the dial units are too large to enable a sufficient accuracy to be obtained over a reasonably short test, and the rotating disc with which these meters are provided shall be used therefore as the power consumption indicator. The meter shall be put into operation until the index mark on the disc is opposite the centre of the window; it shall be then disconnected until the start of the test.

To reduce the possible error, the period of test shall be long enough to permit about 100 revolutions of the disc and the test shall preferably be ended when the mark on the disc is visible. If, however, the mark is out of sight at the end of the test, an estimated fraction of a revolution shall be added. The test shall be started and stopped at corresponding points on the “on-off” heating cycle (e.g. at the moment when the heaters are switched on by the thermostat).

6.4.2 Method 2—Direct and continuous method

Description of the equipment

Starting from the high-pressure air source, i.e. from a pipe system or air cylinders:

a) *Air-pressure regulator*

A device to reduce the air pressure from the many atmospheres of the supply mains to the quite low-pressure values needed for feeding the oven.

It is equipped with an adjustable valve which permits a constant pressure downstream.

b) *Flowmeter*

An instrument with which the rate of air flow can be measured. It is illustrated by Figure 9, page 100, and operates on a manometric principle, with:

1. A calibrated capillary tube, with an internal calibrated diameter of about 2 mm and a calibrated length of about 70 mm. Figure 10, page 101, shows a typical calibration diagram, which permits the control of air flow up to 500 litre/h or 600 litre/h;
2. A manometric tube with a double graduation of pressure difference ranging between 0 and ± 300 mm of water. Distilled water is the manometric liquid.

c) *Air oven*

An ordinary air oven to be operated when carefully sealed, including sealing round the inlet tube, which should preferably enter the oven through the bottom. The outflow hole, which should be at the top of the oven, is the only port to be open.

Note. — The following two features facilitate the reliability of the method and the equipment:

- a) The flowmeter described above can be considered as fully reliable, easy to manufacture and to calibrate, as well as suitable for the range of air rates involved here.
- b) As shown by tests, the adoption of a slightly “forced” ventilation does not alter, in practice, the uniformity of the temperature at the various points in the ovens.

7. Essai de perte de masse des enveloppes isolantes et des gaines de p.v.c.

7.1 Essai de perte de masse des enveloppes isolantes de p.v.c.

7.1.1 Matériel d'essai

a) Etude à circulation d'air, naturelle ou sous pression. L'air doit entrer dans l'étuve de telle façon qu'il passe sur la surface des éprouvettes et qu'il sorte de l'étuve au voisinage de son sommet. L'air contenu dans l'étuve doit être renouvelé complètement au moins 8 fois et au plus 20 fois par heure à la température de vieillissement prescrite. En cas de litige, on doit utiliser une étuve à circulation d'air naturelle.

L'emploi d'un ventilateur à l'intérieur de l'étuve est prohibé.

b) Balance d'analyse d'une sensibilité de 0,1 mg.

c) Poinçons pour éprouvettes plates en forme d'haltère (voir la méthode d'essais de l'article 5).

d) Dessiccateur avec gel de silice ou matériau similaire.

7.1.2 Echantillonnage

Trois échantillons de chaque conducteur à essayer sont prélevés en des emplacements espacés d'au moins 100 mm (voir ci-dessous).

En se référant à la méthode d'essais de l'article 5, les échantillons et les éprouvettes correspondantes peuvent être trois de ceux numérotés 0 à 5, non nécessaires pour un « autre » traitement de vieillissement (voir le paragraphe 5.1.2). On peut aussi prélever spécialement trois échantillons avant chacun environ 100 mm de longueur.

Si cependant l'essai de perte de masse est combiné avec l'essai mécanique, il faut utiliser trois éprouvettes parmi celles qui sont numérotées 2 et 4.

7.1.3 Préparation des éprouvettes

a) On enlève les revêtements extérieurs, s'il en existe. On enlève l'âme et les revêtements semi-conducteurs placés éventuellement sur l'enveloppe isolante par un procédé mécanique, c'est-à-dire sans utiliser de solvant.

b) L'essai est effectué sur:

1. Des éprouvettes plates en forme d'haltère représentées à la figure 7, page 99, toutes les fois que cette préparation est possible.
2. Des éprouvettes plates en forme d'haltère représentées à la figure 8, page 99, pour les conducteurs de trop petit diamètre pour permettre l'emploi des éprouvettes selon la figure 7.
3. Des éprouvettes tubulaires en variante aux éprouvettes en haltère, si le diamètre intérieur du conducteur ne dépasse pas 12,5 mm et lorsqu'il n'y a aucun revêtement semi-conducteur à l'intérieur de l'enveloppe isolante.

On ne doit pas obturer les extrémités des éprouvettes tubulaires.

c) Les éprouvettes tubulaires doivent être préparées comme indiqué au paragraphe 5.1.3a) sans marquer de traits de repère. La surface totale de chaque éprouvette (voir le paragraphe 7.1.4a)) ne doit pas être inférieure à 5 cm².

Les éprouvettes plates en forme d'haltère doivent être préparées comme indiqué au paragraphe 5.1.3b) (sans traits de repère) et avoir deux surfaces parallèles sur toute leur longueur. L'épaisseur de ces éprouvettes ne doit pas être inférieure à 0,8 mm, ni supérieure à 2,0 mm, comme prescrit au paragraphe 5.1.3.

d) Des câbles souples méplats pourvus d'une gorge entre conducteurs isolés sur chaque face doivent être essayés sans séparation des conducteurs. Pour le calcul de sa surface d'évaporation, le câble méplat peut être assimilé à deux éléments tubulaires distincts.

7.1.4 Calcul de la surface d'évaporation A

Avant de procéder à l'essai de perte de masse, on calcule la surface A, en centimètres carrés, de chaque éprouvette en utilisant les formules suivantes:

7. Loss of mass test for p.v.c. insulations and sheaths

7.1 Loss of mass test for p.v.c. insulation

7.1.1 Test equipment

a) An oven with natural air flow or air flow by pressure. The air shall enter the oven in such a way that it flows over the surface of the test pieces and leaves near the top of the oven. The oven shall have not less than 8 and not more than 20 complete air changes per hour at the specified ageing temperature. In case of dispute, an oven with natural air circulation shall be used.

A rotating fan shall not be used inside the oven.

b) An analytical balance with a sensitivity of 0,1 mg.

c) Punching dies for dumb-bell test pieces (see test method in Clause 5).

d) A desiccator with silica gel or similar material.

7.1.2 Sampling

Three samples of each core to be tested shall be taken from places at least 100 mm distant from each other (see below).

With reference to the test method in Clause 5, the samples and the test pieces prepared therefrom may be either three of those numbered 0 to 5, not being required for "another" ageing treatment (see Sub-clause 5.1.2) or three especially taken samples each about 100 mm in length.

If, however, the loss of mass test is combined with the mechanical test, the test pieces to be used are three of those numbered 2 and 4.

7.1.3 Preparation of test pieces

a) Any covering shall be removed. The conductor shall be removed and semiconducting layers on the insulation—if any—shall be removed mechanically, i.e. without using solvent.

b) The test shall be made on:

1. Dumb-bell test pieces illustrated in Figure 7, page 99, whenever practicable.

2. Dumb-bell test pieces illustrated in Figure 8, page 99, if the core dimensions are too small to permit dumb-bells according to Figure 7 to be used.

3. Tubular test pieces, as an alternative to dumb-bells, for inner diameters not exceeding 12.5 mm, provided that there is not an adherent semiconducting layer on the inside of the insulation.

The ends of tubular test pieces shall not be closed.

c) The tubular test pieces shall be prepared as specified in Sub-clause 5.1.3a) without applying marker lines. The total surface of each test piece (see Sub-clause 7.1.4a)) shall be not less than 5 cm².

The dumb-bell test pieces shall be prepared as specified in Sub-clause 5.1.3b) (without marker lines) and with two parallel surfaces on the whole length of the test pieces. The thickness of the dumb-bells shall be not less than 0.8 mm and not more than 2.0 mm, as specified in Sub-clause 5.1.3.

d) Flat twin flexible cords provided with a groove on both sides between the cores shall be tested without separation of the cores. For calculation of its surface of evaporation, the twin cord may be considered as being two separated tubular pieces.

7.1.4 Calculation of the evaporation area *A*

The surface area *A*, in square centimetres, of each test piece shall be determined before conducting the loss of mass test using the following formulae:

a) *Pour les éprouvettes tubulaires :*

Surface A = surface extérieure + surface intérieure + surface des tranches

$$A = \frac{2 \pi (D - \delta) \times (l + \delta)}{100} \text{ cm}^2$$

où :

δ = épaisseur moyenne de l'éprouvette en millimètres avec deux décimales si $\delta \leq 0,4$ mm, et une décimale pour les épaisseurs supérieures

D = diamètre extérieur moyen de l'éprouvette en millimètres avec deux décimales si $D \leq 2$ mm, et une décimale pour les diamètres supérieurs

l = longueur de l'éprouvette en millimètres avec une décimale

δ et D étant mesurés comme prescrit dans la méthode d'essais de l'article 4 (paragraphes 4.1 et 4.2) sur une tranche mince coupée à l'extrémité de chaque éprouvette tubulaire.

La formule est aussi applicable aux éprouvettes tubulaires dont la section est celle indiquée à la figure 2, page 98.

b) *Pour les éprouvettes plates en forme d'haltère selon la figure 8, page 99*

$$A = \frac{624 + (118 \delta)}{100} \text{ cm}^2$$

c) *Pour les éprouvettes plates en formes d'haltère selon la figure 7, page 99*

$$A = \frac{1\,256 + (180 \delta)}{100} \text{ cm}^2$$

Dans ces formules, δ est l'épaisseur moyenne des éprouvettes en millimètres avec deux décimales, comme prescrit au paragraphe 5.1.4b).

7.1.5 Mode opératoire

a) Les éprouvettes ainsi préparées doivent être placées dans un dessiccateur à la température ambiante pendant au moins 20 h. Immédiatement après la sortie du dessiccateur, on pèse chaque éprouvette avec précision, en milligrammes, avec une décimale.

b) Ensuite, les trois éprouvettes doivent être maintenues dans l'étuve à air chaud (voir le paragraphe 7.1.1) à la pression atmosphérique pendant 7×24 h à 80 ± 2 °C, sauf spécification contraire, dans les conditions suivantes :

- on ne doit pas essayer en même temps dans la même étuve des mélanges de compositions nettement différentes;
- les éprouvettes doivent être suspendues verticalement au milieu de l'étuve chacune séparée d'au moins 20 mm de toute autre éprouvette;
- le volume occupé par les éprouvettes ne doit pas dépasser 0,5 % du volume de l'étuve.

c) Après ce traitement thermique, les éprouvettes doivent être de nouveau placées dans un dessiccateur à la température ambiante pendant 20 h. Elles sont ensuite pesées avec précision, en milligrammes, avec une décimale.

Pour chaque éprouvette, la différence entre les masses déterminées en a) et c) doit être calculée et arrondie au milligramme le plus proche.

7.1.6 Expression des résultats

On détermine la perte de masse de chaque éprouvette en divisant sa « différence de masse » (voir le paragraphe 7.1.5c)), en milligrammes, par sa surface (voir le paragraphe 7.1.4) en centimètres carrés.

La valeur médiane obtenue sur les trois éprouvettes prélevées sur chaque conducteur isolé, exprimée en milligrammes par centimètre carré, est retenue comme perte de masse du conducteur considéré.

a) *For tubular specimens:*

Surface A = outer surface + inner surface + cut surface

$$A = \frac{2 \pi (D - \delta) \times (l + \delta)}{100} \text{ cm}^2$$

where:

δ = average thickness of the test piece, in millimetres, to two decimal places if $\delta \leq 0.4$ mm, and to one decimal place above this limit

D = mean outer diameter of the test piece, in millimetres, to two decimal places if $D \leq 2$ mm, and to one decimal place above this limit

l = length of the test piece, in millimetres, to one decimal place

both δ and D being measured as specified in the test method in Clause 4 (Sub-clauses 4.1 and 4.2) on a thin slice cut from the end of each tubular test piece.

The formula may be applied also to a tubular test piece having a cross-section as shown in Figure 2, page 98.

b) *For dumb-bell test piece size of Figure 8, page 99*

$$A = \frac{624 + (118 \delta)}{100} \text{ cm}^2$$

c) *For dumb-bell test piece size of Figure 7, page 99*

$$A = \frac{1\,256 + (180 \delta)}{100} \text{ cm}^2$$

Wherein δ is the mean thickness of the strips, in millimetres, to two decimal places, determined as specified in Sub-clause 5.1.4b).

7.1.5 Test procedure

a) The prepared test pieces shall be placed for at least 20 h at ambient temperature in a desiccator. Immediately after removal from the desiccator, each test piece shall be weighed accurately, in milligrams, to one decimal place.

b) Thereafter, the three test pieces shall be maintained in the oven (see Sub-clause 7.1.1), in air at atmospheric pressure for 7×24 h at 80 ± 2 °C, unless otherwise specified, under the following conditions:

- compounds of obviously different compositions shall not be tested at the same time in the same oven;
- test pieces shall be suspended vertically in the middle of the oven so that each piece is at least 20 mm from any other piece;
- not more than 0.5% of the oven volume shall be occupied by the test pieces.

c) After this heat treatment, the test pieces shall again be placed for 20 h in a desiccator at ambient temperature and each test piece shall then be re-weighed accurately, in milligrams, to one decimal place.

The difference between the weights determined in a) and in c), for each test piece, shall be calculated and rounded-off to the nearest milligram.

7.1.6 Expression of results

The loss of mass of each test piece shall be determined by dividing its “weight difference” (see Sub-clause 7.1.5c)) in milligrams, by its surface area (see Sub-clause 7.1.4.) in square centimetres.

The median value of the results for the three test pieces from each core, expressed in milligrams per square centimetre, shall be taken as the loss in mass of the core.

7.2 Essai de perte de masse pour les gaines de p.v.c.

7.2.1 Matériel d'essai

(Voir le paragraphe 7.1.1.)

7.2.2 Echantillonnage

On doit prélever trois échantillons de gaine comme indiqué au paragraphe 7.1.2.

7.2.3 Préparation des éprouvettes

- a) Tous les éléments constitutifs du câble qui existent sous (et s'il y a lieu sur) la gaine doivent être retirés en ayant soin d'éviter toute détérioration de cette gaine.
- b) Les éprouvettes en forme d'haltère selon la figure 7, page 99, doivent être utilisées chaque fois que cette préparation est possible. Dans le cas contraire, on doit préparer des éprouvettes en forme d'haltère plus petites selon la figure 8, page 99. Des éprouvettes tubulaires peuvent être utilisées en variante dans le cas de gaines ayant un diamètre intérieur au plus égal à 12,5 mm. On ne doit pas obturer les extrémités des éprouvettes tubulaires.
- c) On doit appliquer le paragraphe 7.1.3c) pour la préparation des éprouvettes tubulaires et en forme d'haltère. L'épaisseur des éprouvettes en forme d'haltère ne doit pas être inférieure à 0,8 mm ni supérieure à 2,0 mm.

7.2.4 Calcul de la surface d'évaporation A

Appliquer les formules du paragraphe 7.1.4 avec les modifications suivantes:

La formule donnée pour les éprouvettes tubulaires ne s'applique que dans le cas des sections représentées sur les figures 3 et 4, page 98. Les surfaces interne et externe d'évaporation des gaines de câbles souples méplats et des câbles rigides doivent être calculées à partir des dimensions de la section de la gaine. Ces dimensions sont mesurées en millimètres avec deux décimales.

La face interne des gaines méplates présentant une saillie triangulaire peut être considérée comme plate.

7.2.5 Mode opératoire

Se conformer au paragraphe 7.1.5.

7.2.6 Expression des résultats

Se conformer au paragraphe 7.1.6.

8. Essai de pression à température élevée pour enveloppes isolantes et gaines de p.v.c.

Note. — Cet essai n'est pas recommandé pour les enveloppes isolantes et les gaines dont l'épaisseur est inférieure à 0,4 mm.

8.1 Essai des enveloppes isolantes de p.v.c.

8.1.1 Echantillonnage

Pour chaque conducteur isolé à essayer, on prélève trois tronçons adjacents d'un échantillon dont la longueur est comprise entre 250 mm et 500 mm. Chaque tronçon doit avoir une longueur de 50 mm à 100 mm.

Pour les câbles souples méplats sans gaine, les conducteurs ne sont pas séparés.

8.1.2 Préparation des éprouvettes

De chaque tronçon de conducteur prélevé comme indiqué au paragraphe 8.1.1, on retire mécaniquement tous les revêtements extérieurs éventuels y compris la couche semi-conductrice externe. Selon le type de câble, l'éprouvette peut avoir une section circulaire ou sectorale.

7.2 Loss of mass test for p.v.c. sheaths

7.2.1 Test equipment

(See Sub-clause 7.1.1.)

7.2.2 Sampling

Three samples of the sheath shall be taken in accordance with Sub-clause 7.1.2.

7.2.3 Preparation of test pieces

- a) All constructional elements arranged under (and, if any, over) the sheath shall be removed, care being taken not to damage the sheath.
- b) Dumb-bell test pieces in accordance with Figure 7, page 99, shall be used whenever practicable. Otherwise the smaller dumb-bells in accordance with Figure 8, page 99, shall be used. Tubular test pieces may be used as an alternative for sheaths of internal diameter not exceeding 12.5 mm. The ends of tubular test pieces shall not be closed.
- c) Dumb-bell and tubular test pieces shall be prepared in accordance with Sub-clause 7.1.3c).

The thickness of dumb-bells shall be between 0.8 mm and 2.0 mm.

7.2.4 Calculation of the evaporation area A

The surface of evaporation shall be calculated by the formulae given in Sub-clause 7.1.4, with the following modifications:

The formula given for tubular specimens is only applicable in the case of the cross-sections shown in Figures 3 and 4, page 98. The inner and outer surfaces of evaporation of sheaths of flat cords and cables shall be calculated from the dimensions of the cross-section of the sheath. These dimensions shall be determined in millimetres to two decimal places.

The inner side of flat sheaths, having a wedge-shaped ridge, may be considered as being flat.

7.2.5 Test procedure

In accordance with Sub-clause 7.1.5.

7.2.6 Expression of results

In accordance with Sub-clause 7.1.6.

8. Pressure test at high temperature for p.v.c. insulations and sheaths

Note. — This test is not recommended for thicknesses of insulations and sheaths less than 0.4 mm.

8.1 Test for p.v.c. insulation

8.1.1 Sampling

For each core to be tested, three adjacent pieces shall be taken from a sample having a length of 250 mm to 500 mm. The length of each piece shall be 50 mm to 100 mm.

The cores of flat cords without sheath shall not be separated.

8.1.2 Preparation of test pieces

From each core piece taken in accordance with Sub-clause 8.1.1, any covering including semiconducting layer, if any, shall be removed mechanically. According to the type of cable, the test piece may have circular or sector-shaped cross-section.

8.1.3 Position de chaque éprouvette dans l'appareil d'essai

Le dispositif d'empreinte est représenté à la figure 11, page 101, et consiste en une lame rectangulaire avec une arête de $0,70 \pm 0,01$ mm de largeur, qui peut être appuyée contre l'éprouvette. Chaque éprouvette est mise en place comme le montre la figure 11, les câbles souples méplats sans gaine étant posés sur leur grande largeur. Les éprouvettes de petit diamètre doivent être fixées sur le support de manière à ne pas se plier sous la pression de la lame. Les éprouvettes de conducteurs sectoriaux doivent être placées sur un support profilé comme l'indique la figure 11. La force est exercée perpendiculairement à l'axe du conducteur et la lame doit également être perpendiculaire à l'axe du conducteur.

8.1.4 Calcul de la force de compression

La force F , en newtons, que doit exercer la lame sur l'éprouvette (des conducteurs ronds et sectoriaux) est donnée par la formule:

$$F = k \sqrt{2 D \delta - \delta^2}$$

où:

k = 0,6 pour les câbles et conducteurs souples

k = 0,6 pour les câbles d'installation fixe dont $D \leq 10$ mm

k = 0,8 pour les câbles d'installation fixe dont $D > 10$ mm

δ = valeur moyenne de l'épaisseur de l'enveloppe isolante de l'éprouvette

D = valeur moyenne du diamètre extérieur de l'éprouvette

δ et D sont exprimés en millimètres avec une décimale, et mesurés comme prescrit dans la méthode d'essais de l'article 4 sur une tranche mince coupée à l'extrémité de l'éprouvette considérée.

Pour les conducteurs sectoriaux, D est la valeur moyenne du diamètre de la partie circulaire du secteur, en millimètres, avec une décimale, déterminée au moyen d'un mètre-ruban, à partir de trois mesures de la circonférence de l'assemblage des conducteurs (les mesures étant effectuées en trois endroits différents sur les conducteurs assemblés).

La force appliquée sur les câbles méplats sans gaine est égale au double de la valeur donnée par la formule ci-dessus, D étant la valeur moyenne de la plus petite dimension de l'éprouvette décrite au paragraphe 8.1.1.

La force calculée peut être arrondie au chiffre inférieur mais pas à plus de 3 %.

8.1.5 Chauffage des éprouvettes chargées

Les essais doivent être effectués dans l'air (c'est-à-dire dans une étuve). La température de l'air doit être maintenue en permanence à la valeur prescrite dans la norme particulière au type de câble considéré.

L'éprouvette chargée, mais non préchauffée, doit être maintenue en position d'essai pendant les durées suivantes:

- 4 h pour les conducteurs de câbles dont la tension nominale ne dépasse pas 1,8/3 kV et dont la section est au plus égale à 35 mm²;
- 6 h pour les conducteurs de câbles dépassant les limites ci-dessus et pour tous les câbles de tension nominale supérieure à 1,8/3 kV.

8.1.6 Refroidissement rapide des éprouvettes chargées

A la fin des durées prescrites (voir le paragraphe 8.1.5), l'éprouvette doit être refroidie rapidement sous charge. Dans l'étuve, cette opération peut être effectuée en arrosant l'éprouvette à l'eau froide à l'endroit sur lequel appuie la lame.

L'éprouvette doit être retirée de l'appareil lorsqu'elle est refroidie à la température à laquelle la reprise de l'enveloppe isolante ne doit plus se produire; l'éprouvette est ensuite refroidie par immersion dans de l'eau froide.

8.1.3 Position of each test piece in the test apparatus

The indentation device is shown in Figure 11, page 101, and consists of a rectangular blade with an edge 0.70 ± 0.01 mm wide, which can be pressed against the test piece. Each test piece shall be placed in the position shown in Figure 11. Flat cords without sheaths shall be laid on their flat side. Test pieces having a small diameter shall be fixed on the support in such a manner that they do not curve under pressure of the blade. Test pieces of sector-shaped cores shall be placed on a support provided with a fitting sector-shaped profile as shown in Figure 11. The force shall be applied in a direction perpendicular to the axis of the core; the blade shall also be perpendicular to the axis of the core.

8.1.4 Calculation of the compressing force

The force F , in newtons, which shall be exerted by the blade upon the test piece (of both round and sector-shaped cores) is given by the formula:

$$F = k \sqrt{2 D \delta - \delta^2}$$

where:

$k = 0.6$ for flexible cords and cores of flexible cables

$k = 0.6$ for cores, with $D \leq 10$ mm, for cables for fixed installations

$k = 0.8$ for cores, with $D > 10$ mm, for cables for fixed installations

δ = mean value of the thickness of the insulation of the test piece

D = mean value of the outer diameter of the test piece

δ and D are both expressed in millimetres, to one decimal place, and measured as specified in the test method in Clause 4 on a thin slice cut from the end of the test piece.

For sector-shaped cores, D is the mean value of the diameter of the "back" or circular part of the sector, in millimetres, to one decimal place, determined from three measurements, by measuring tape, of the circumference of the core assembly (the measurements being made at three different places on the assembled cores).

The force applied upon the test piece of flat cord without sheath shall be twice the value given by the above formula, where D is the mean value of the minor dimension of the test piece described in Sub-clause 8.1.1.

The calculated force may be rounded off downwards by not more than 3%.

8.1.5 Heating of the loaded test pieces

The test shall be carried out in air (i.e. in an oven). The temperature of the air shall be maintained continuously at the value specified in the relevant cable standard.

The loaded, but not pre-heated, test piece shall be kept in the test position for the following duration:

- 4 h for cores of cables having a rated voltage not exceeding 1.8/3 kV and a conductor cross-section not exceeding 35 mm²;
- 6 h for cores of cables exceeding the above limits and of all cables having a rated voltage exceeding 1.8/3 kV.

8.1.6 Chilling of the loaded test pieces

At the end of the specified durations (see Sub-clause 8.1.5), the test piece shall be chilled under load. In the heating cabinet, this operation may be carried out by spraying the test piece with cold water on the spot where the blade is pressing.

The test piece shall be removed from the apparatus when it has cooled to a temperature where recovery of the insulation no longer occurs; the test piece shall then be cooled further by immersion in cold water.

8.1.7 Mesure de l'empreinte

Immédiatement après refroidissement, on prépare l'éprouvette pour déterminer la profondeur de l'empreinte.

On retire l'âme conductrice de manière à obtenir une éprouvette tubulaire.

On découpe une tranche mince dans l'éprouvette, parallèlement à l'axe du conducteur et perpendiculairement à l'empreinte comme représenté à la figure 12, page 102.

On pose la tranche à plat sous un microscope de mesure, puis on règle le réticule sur le fond de l'empreinte et le côté extérieur de l'éprouvette comme représenté à la même figure.

Pour les petites éprouvettes, jusqu'à 6 mm de diamètre extérieur, on effectue deux coupes transversales, l'une au droit de l'empreinte et l'autre à proximité comme représenté à la figure 13, page 102, et l'on détermine la profondeur de l'empreinte par différence entre les mesures au microscope sur les vues en coupe 1 et 2 comme représenté à la même figure.

Toutes les mesures doivent être exprimées en millimètres avec deux décimales.

8.1.8 Prescription

La valeur médiane des profondeurs d'empreintes, mesurées sur les trois éprouvettes prélevées sur chaque conducteur ne doit pas être supérieure à 50 % de la valeur moyenne de l'épaisseur de l'enveloppe isolante de l'éprouvette (mesurée comme indiqué au paragraphe 8.1.4).

8.2 Essai des gaines de p.v.c.

8.2.1 Echantillonnage

Chaque gaine de câble doit être représentée par trois tronçons adjacents prélevés sur un échantillon dont la longueur est comprise entre 250 mm et 500 mm, et dont on sépare les revêtements externes (s'il y a lieu) et tous les éléments internes (conducteurs, bourrages, revêtements internes, armures, etc., s'il y a lieu).

Chaque tronçon de gaine doit avoir une longueur de 50 mm à 100 mm (longueurs les plus grandes pour les diamètres les plus importants).

8.2.2 Préparation des éprouvettes

Dans chaque tronçon de gaine (voir le paragraphe 8.2.1), on découpe, parallèlement à l'axe du câble, une bande couvrant environ un tiers de la circonférence si la gaine n'a pas d'empreintes.

Si la gaine présente des empreintes résultant de son application sur un assemblage de plus de cinq conducteurs isolés, la bande doit être coupée de la même manière et les empreintes doivent être enlevées par meulage.

Si la gaine présente des empreintes correspondant à cinq conducteurs ou moins, la bande doit être coupée parallèlement aux empreintes de manière qu'elle comporte au moins l'une des empreintes au milieu de sa largeur et sur toute sa longueur.

Si la gaine est appliquée directement sur un conducteur concentrique, une armure ou un écran métallique et présente, par suite, des empreintes qui ne peuvent pas être éliminées par meulage ou coupe (sauf si le diamètre est grand), la gaine n'est pas retirée et on utilise le tronçon de câble complet comme éprouvette.

8.2.3 Position de l'éprouvette dans l'appareil d'essai

Le dispositif d'empreinte doit être le même que celui défini au paragraphe 8.1.3 et représenté à la figure 11, page 101.

Les bandes sont portées par une broche ou un tube métallique qui peut être coupé en deux selon un plan passant par son axe pour former un support plus stable.

Le rayon de la broche ou du tube doit être approximativement égal à la moitié du diamètre intérieur de l'éprouvette.

8.1.7 *Measurement of the indentation*

Immediately after cooling, the test piece shall be prepared for determining the depth of indentation.

The conductor shall be withdrawn leaving the test piece in the form of a tube.

A narrow strip shall be cut from the test piece in the direction of the axis of the core, perpendicular to the indentation as shown in Figure 12, page 102.

The strip shall be laid flat under a measuring microscope and the cross-wire shall be adjusted to the bottom of the indentation and the outside of the test piece as shown in the same figure.

Small test pieces, up to about 6 mm external diameter, shall be cut transversely at and near the indentation, as shown in Figure 13, page 102, and the depth of the indentation shall be determined by difference from the microscope measurements on sectional views 1 and 2 as shown in the same figure.

All measurements shall be made in millimetres to two decimal places.

8.1.8 *Requirement*

The median of the indentation values, measured on the three test pieces taken from each core, shall be not more than 50% of the mean value of the thickness of the insulation of the test piece (as measured in accordance with Sub-clause 8.1.4).

8.2 *Test for p.v.c. sheaths*

8.2.1 *Sampling*

For each sheath to be tested, three adjacent pieces shall be taken from a sample having a length of 250 mm to 500 mm from which the covering (if any) and all the internal parts (cores, fillers, inner covering, armour, etc. (if any) have been removed.

The length of each sheath piece shall be 50 mm to 100 mm (the greater values for the larger diameters).

8.2.2 *Preparation of test pieces*

From each sheath piece (see Sub-clause 8.2.1), a strip, enclosing about one-third of the circumference, shall be cut in the direction of the axis of the cable if the sheath does not have ridges.

If the sheath has ridges caused by more than five cores, the strip shall be cut in the same manner and these ridges shall be removed by grinding.

If the sheath shows ridges caused by five or less cores, the strip shall be cut in the direction of the ridges so that it contains at least one groove which lies approximately in the middle of the strip throughout its length.

If the sheath is directly applied on a concentric conductor, an armour or a metallic screen, and therefore has ridges which cannot be ground or cut away (unless the diameter is large), the sheath shall not be removed and the whole cable piece shall be used as a test piece.

8.2.3 *Position of the test piece in the test apparatus*

The indentation device shall be the same as specified in Sub-clause 8.1.3 and shown in Figure 11, page 101.

The strips shall be supported by a metal pin or tube, which may be halved in the direction of its axis to make a more stable support.

The radius of the pin or tube shall be approximately equal to half the inner diameter of the test piece.

L'appareil, la bande et la broche (tube) support, doivent être disposés de telle façon que la broche supporte la bande et que la lame soit appuyée contre la surface extérieure de l'éprouvette.

La force est appliquée perpendiculairement à l'axe de la broche (ou du câble lorsqu'un tronçon de câble complet est utilisé) et la lame doit également être perpendiculaire à l'axe de la broche ou du tube (ou du câble si un câble complet est utilisé).

8.2.4 Calcul de la force de compression

Sauf spécification contraire, la force F , en newtons, que doit exercer la lame sur chaque éprouvette de gaine doit être donnée par la formule:

$$F = k \sqrt{2 D \delta - \delta^2}$$

où:

k = 0,6 pour les câbles et conducteurs souples

k = 0,6 pour les câbles d'installation fixe ayant un diamètre ≤ 10 mm

k = 0,8 pour les câbles d'installation fixe ayant un diamètre > 10 mm

δ = valeur moyenne de l'épaisseur de l'éprouvette de la gaine

D = valeur moyenne du diamètre extérieur de l'éprouvette de la gaine

δ et D sont exprimés en millimètres avec une décimale, et mesurés comme prescrit dans la méthode d'essais de l'article 4, paragraphes 4.2 et 4.3 respectivement. (D est le diamètre du câble sur lequel le tronçon a été prélevé.)

La force calculée peut être arrondie à la valeur inférieure mais pas à plus de 3%.

8.2.5 Chauffage des éprouvettes chargées

On doit chauffer les éprouvettes comme l'indique le paragraphe 8.1.5 avec les modifications suivantes au sujet des durées de chauffage:

4 h pour les éprouvettes ayant un diamètre extérieur ne dépassant pas 12,5 mm;

6 h pour les éprouvettes de diamètre extérieur supérieur à 12,5 mm.

8.2.6 Refroidissement rapide des éprouvettes chargées

On doit refroidir les éprouvettes par la méthode décrite au paragraphe 8.1.6.

8.2.7 Mesure de l'empreinte

On doit mesurer la profondeur d'empreinte comme l'indiquent le paragraphe 8.1.7 et la figure 12, page 102, sur une tranche mince coupée dans l'éprouvette.

8.2.8 Prescription

La valeur médiane des profondeurs d'empreintes mesurées sur les trois éprouvettes prélevées sur la gaine soumise à l'essai ne doit pas dépasser 50% de la valeur moyenne de l'épaisseur de l'échantillon, mesurée comme l'indique le paragraphe 8.2.4.

8.3 Méthode d'essais utilisant un micromètre à cadran

Cette méthode peut être utilisée à la fois pour les enveloppes isolantes et les gaines mais, en cas de litige, la méthode décrite aux paragraphes 8.1 et 8.2 doit être considérée comme méthode de référence. La méthode du micromètre à cadran ne doit pas être employée pour les conducteurs ayant des âmes souples.

8.3.1 Echantillonnage

Voir le paragraphe 8.1.1 pour les enveloppes isolantes et le paragraphe 8.2.1 pour les gaines.

The apparatus, the strip and the supporting pin (tube) shall be arranged so that the pin supports the strip and the blade is pressed against the outer surface of the test piece.

The force shall be applied in a direction perpendicular to the axis of the pin (or of the cable when a whole cable piece is used) and the blade shall also be perpendicular to the axis of the pin or tube (or of the cable when a whole cable is used).

8.2.4 Calculation of the compressing force

Unless otherwise specified, the force F , in newtons, which shall be exerted by the blade upon each test piece of sheaths, shall be as given by the formula:

$$F = k \sqrt{2 D \delta - \delta^2}$$

where:

k = 0.6 for flexible cords and cables

k = 0.6 for cables for fixed installation having a value $D \leq 10$ mm

k = 0.8 for cables for fixed installation having a value $D > 10$ mm

δ = mean value of the thickness of the test piece of the sheath

D = mean value of the outer diameter of the test piece of the sheath

δ and D are both expressed in millimetres, to one decimal place, and measured as specified in the test method in Clause 4, Sub-clauses 4.2 and 4.3 respectively. (D is the diameter of the cable from which the piece was cut.)

The calculated force may be rounded off downwards by not more than 3%.

8.2.5 Heating of the loaded test pieces

The test pieces shall be heated by the method described in Sub-clause 8.1.5, except that they shall be kept in the test position for the following periods:

4 h for test pieces having an outer diameter not exceeding 12.5 mm;

6 h for test pieces with an outer diameter exceeding 12.5 mm.

8.2.6 Chilling of the load test pieces

The test pieces shall be chilled by the method described in Sub-clause 8.1.6.

8.2.7 Measurement of the indentation

The indentation shall be measured on a narrow strip cut from the test piece, as described in Sub-clause 8.1.7 and shown in Figure 12, page 102.

8.2.8 Requirement

The median of the indentation values measured on the three test pieces taken from the sheath under test shall be not more than 50% of the mean value of the thickness of the sample when measured in accordance with Sub-clause 8.2.4.

8.3 Test method using a dial micrometer

This method may be used both for insulation and sheath but, in case of dispute, the method described in Sub-clauses 8.1 and 8.2 shall be considered as the reference method. This method shall not be used for cores having flexible conductors.

8.3.1 Sampling

See Sub-clause 8.1.1 for insulation and Sub-clause 8.2.1 for sheaths.

8.3.2 Préparation des éprouvettes

a) Pour les enveloppes isolantes, les éprouvettes doivent être préparées comme l'indique le paragraphe 8.1.2, avec l'additif suivant:

On retire une partie de la circonférence de l'enveloppe isolante de manière que l'âme conductrice soit en contact avec le support comme représenté à la figure 14, page 102.

b) Pour les gaines, les éprouvettes doivent être préparées comme l'indique le paragraphe 8.2.2.

8.3.3 Appareil et mode opératoire

En principe, l'essai est effectué de la même manière que celle décrite aux paragraphes 8.1 et 8.2. La lame rectangulaire doit être montée sur le pied de pression de la tige verticale mobile et son arête doit être parallèle à la surface du support de l'appareil.

L'éprouvette doit être mise en place sur le support comme indiqué aux paragraphes 8.1.3 ou 8.2.3, tandis que l'âme conductrice, la broche ou le tube doivent être en contact avec la surface du support pour éviter de mesurer des déformations supplémentaires (voir la figure 14).

Après mise en place de l'éprouvette sur le support, on amène lentement la tige non chargée au contact de l'éprouvette à température ambiante et on effectue la lecture, en millimètres avec deux décimales. Ensuite, la tige est relevée puis immobilisée.

Le micromètre à cadran, avec l'éprouvette encore en place sur le support, et le poids doivent être placés dans l'étuve pour un préchauffage de 1 h, à la température indiquée au paragraphe 8.1.5.

Note. — En variante, le micromètre à cadran et le poids peuvent être laissés à l'extérieur.

A l'issue du temps de préchauffage, on amène lentement la tige au contact de l'éprouvette et on la charge, avec précaution, du poids approprié de manière que la lame exerce sur l'éprouvette la force calculée à l'aide de la formule des paragraphes 8.1.4 ou 8.2.4.

Note. — La charge calculée n'est pas seulement le poids devant être ajouté sur la tige du micromètre à cadran mais encore le poids de la tige elle-même, dont il faut tenir compte.

Après application de la charge, l'essai de pression doit être poursuivi pendant les durées spécifiées aux paragraphes 8.1.5 ou 8.2.5.

A la fin de cette période, on doit effectuer la lecture sur le cadran, en millimètres avec deux décimales.

On détermine la profondeur de l'empreinte en soustrayant cette dernière lecture de celle effectuée avec la tige non chargée.

8.3.4 Prescriptions

Voir le paragraphe 8.1.8 pour l'enveloppe isolante et le paragraphe 8.2.8 pour la gaine.

9. Essais à basse température pour enveloppes isolantes et gaines de p.v.c.

9.1 Essai de pliage à basse température pour enveloppes isolantes de p.v.c.

9.1.1 Généralités

L'essai de pliage s'applique aux conducteurs à âmes circulaires ayant un diamètre extérieur inférieur ou égal à 12,5 mm et aux conducteurs à âmes sectoriales lorsqu'il n'est pas possible de préparer des éprouvettes en forme d'haltère.

Les conducteurs de plus grandes dimensions doivent être soumis à l'essai d'allongement décrit au paragraphe 9.3.

8.3.2 Preparation of test pieces

- a) For insulation, the test piece shall be prepared as described in Sub-clause 8.1.2 with the following addition:

A part of the circumference of the insulation shall be removed in such a way that the conductor makes contact with the support as shown in Figure 14, page 102.

- b) For sheaths the test piece shall be prepared as described in Sub-clause 8.2.2.

8.3.3 Apparatus and procedure

In principle, the test shall be carried out in the same way as described in Sub-clauses 8.1 and 8.2. The rectangular blade shall be mounted on the pressure foot of the vertical movable spindle and its edge shall be parallel to the surface of the anvil of the instrument.

The test piece shall be positioned on the anvil as described in Sub-clauses 8.1.3 or 8.2.3 with the conductor or the metal pin or tube in contact with the surface of the anvil to prevent measuring of additional deformations (see Figure 14).

After positioning of the test piece on the anvil, the unloaded spindle shall be gently placed on the test piece at ambient temperature and the reading shall be made, in millimetres, to two decimal places after which the spindle shall be moved upwards and fixed.

The dial micrometer instrument with the test piece still in position on the anvil and the weight shall be placed in the oven, at the temperature specified in Sub-clause 8.1.5, for 1 h of preliminary heating.

Note. — Alternatively, the dial micrometer and the weight may be kept outside.

At the end of the hour, the spindle shall be gently brought onto the test piece and shall be carefully loaded with the appropriate weight so that the blade shall exert the force on the test piece calculated by the formula in Sub-clauses 8.1.4 or 8.2.4.

Note. — The calculated load is not only the weight to be added to the spindle of the dial micrometer as it is necessary to take into account the weight of the spindle itself.

After loading, the pressure test shall be continued for the duration specified in Sub-clauses 8.1.5 or 8.2.5.

At the end of this period, the dial shall be read, in millimetres, to two decimal places.

The indentation shall be determined by subtracting the latter reading from the reading with an unloaded spindle.

8.3.4 Requirements

See Sub-clause 8.1.8 for insulation and Sub-clause 8.2.8 for sheath.

9. Tests at low temperature for p.v.c. insulations and sheaths

9.1 Bending test at low temperature for p.v.c. insulations

9.1.1 General

This test is intended for cores of circular cross-section having an external diameter up to and including 12.5 mm and for sector-shaped cores when it is not possible to prepare dumb-bells.

Cores having larger dimensions shall be subjected to the elongation test described in Sub-clause 9.3.

9.1.2 Echantillonnage et préparation des éprouvettes

Chaque conducteur à essayer doit être représenté par deux échantillons de longueur appropriée, prélevés en deux endroits espacés d'au moins 1 m. Après élimination de tous les revêtements extérieurs éventuels, les échantillons doivent être utilisés comme éprouvettes.

9.1.3 Appareil

L'appareil recommandé pour cet essai est représenté à la figure 15, page 103, accompagnée d'annotations. Il est composé essentiellement d'un mandrin rotatif et de dispositifs de guidage pour les éprouvettes.

On peut aussi utiliser d'autres appareils à un seul mandrin s'ils sont pratiquement équivalents à celui représenté à la figure 15.

L'appareil doit être mis dans un réfrigérateur avant et pendant l'essai.

9.1.4 Mode opératoire

On doit fixer l'éprouvette dans l'appareil comme représenté à la figure 15.

L'appareil avec l'éprouvette en place doit être maintenu dans le réfrigérateur pendant une période d'au moins 16 h à la température d'essai spécifiée. Cette période de refroidissement de 16 h inclut le temps nécessaire à la mise en température de l'appareil.

Si toutefois l'appareil a subi un refroidissement préalable, on peut réduire la période de refroidissement, à condition qu'elle ne soit pas inférieure à 4 h et que les éprouvettes atteignent bien la température imposée. Si l'appareil et les éprouvettes ont été refroidis préalablement, une période de mise en température de 1 h après la fixation de chaque éprouvette sur l'appareil est suffisante.

A la fin de cette période, on doit tourner le mandrin en conformité avec les conditions prescrites au paragraphe 9.1.5, l'éprouvette étant guidée de manière à l'enrouler étroitement sur le mandrin pour former une hélice à spires jointives. Dans le cas d'éprouvettes de conducteurs à âmes sectoriales, la partie circulaire de l'éprouvette doit être en contact avec le mandrin.

Ensuite, on laisse les éprouvettes revenir approximativement à la température ambiante sans les dérouler du mandrin.

9.1.5 Conditions d'essais

La température de refroidissement et d'essai doit être celle spécifiée pour le type de mélange de p.v.c. et indiquée dans la norme particulière au type de câble considéré.

Le diamètre du mandrin doit être compris entre 4 et 5 fois celui de l'éprouvette (voir ci-dessous).

Le mandrin doit tourner avec une vitesse uniforme à raison d'environ une spire en 5 s et le nombre de spires doit être conforme à celui prescrit dans le tableau suivant

Diamètre extérieur de l'éprouvette (mm)	Nombre de spires
Inférieur ou égal à 2,5	10
Au-dessus de 2,5 à 4,5 inclus	6
Au-dessus de 4,5 à 6,5 inclus	4
Au-dessus de 6,5 à 8,5 inclus	3
Au-dessus de 8,5 à 12,5 inclus	2

On doit mesurer le diamètre réel de chaque éprouvette avec un pied à coulisse ou un mètre-ruban. Pour les éprouvettes de conducteurs à âmes sectoriales, le petit axe est considéré comme la dimension équivalente au diamètre pour déterminer le diamètre du mandrin et le nombre de spires.

9.1.2 Sampling and preparation of test pieces

Each core to be tested shall be represented by two samples of suitable length, taken from two places separated by at least 1 m. After removal of the coverings, if any, the samples shall be used as test pieces.

9.1.3 Apparatus

The apparatus recommended for this test is represented in Figure 15, page 103, with explanations. It consists essentially of one revolving mandrel and guiding devices for the test pieces.

Other single-mandrel apparatus, substantially equivalent to the one represented in Figure 15, may also be used.

The apparatus shall be held in a refrigerator before and during the test.

9.1.4 Procedure

The test piece shall be fixed in the apparatus, as shown in Figure 15.

The apparatus with the test piece in position shall be maintained in the refrigerator at the specified temperature for a period of not less than 16 h. The cooling period of 16 h includes the time necessary for cooling down the apparatus.

If the apparatus has been pre-cooled, a shorter cooling period is permissible, but not less than 4 h provided that the samples have attained the prescribed test temperature. If the apparatus and test specimens have been pre-cooled, a cooling time of 1 h after each test piece has been fixed to the apparatus is sufficient.

At the end of the prescribed time, the mandrel shall be rotated, complying with the conditions specified in Sub-clause 9.1.5, the test piece being guided so that it is bent tautly round the mandrel in a close helix. In the case of sector-shaped test pieces, the circular "back" part of the test piece shall be in contact with the mandrel.

Afterwards, the test piece, still on the mandrel, shall be allowed to attain approximately ambient temperature.

9.1.5 Test conditions

The cooling and test temperature shall be as specified for the type of p.v.c. compound in the relevant cable standard.

The diameter of the mandrel shall be between 4 and 5 times the diameter of the test piece (see below).

The mandrel shall be uniformly rotated at a rate of one revolution in about 5 s and the number of turns shall be as specified in the following table:

Overall diameter of the test piece (mm)	Number of turns
Up to and including 2.5	10
Over 2.5 up to and including 4.5	6
Over 4.5 up to and including 6.5	4
Over 6.5 up to and including 8.5	3
Over 8.5 up to and including 12.5	2

The actual diameter of each test piece shall be measured by either a vernier calliper or a measuring tape. For sector-shaped test pieces, the minor axis is taken as the parameter equivalent to the diameter for determining the mandrel diameter and the number of turns.

Pour les câbles souples méplats, le diamètre du mandrin doit être défini par la plus petite dimension de l'éprouvette qui est enroulée avec son petit axe perpendiculaire à l'axe du mandrin.

9.1.6 *Prescription*

A la fin du mode opératoire décrit au paragraphe 9.1.4, on examine les éprouvettes sans les dérouler du mandrin. L'enveloppe isolante des deux éprouvettes de conducteur ne doit pas présenter de craquelure visible à l'œil nu, normal ou corrigé, sans appareil grossisseur.

9.2 *Essai de pliage à basse température pour les gaines de p.v.c.*

9.2.1 *Généralités*

L'essai de pliage s'applique aux câbles ayant un diamètre extérieur inférieur ou égal à 12,5 mm.

Les échantillons de diamètre supérieur doivent être soumis à l'essai d'allongement décrit au paragraphe 9.4.

9.2.2 *Echantillonnage et préparation des éprouvettes*

Chaque gaine de p.v.c. à essayer doit être représentée par deux tronçons de câble complet, de longueur appropriée, prélevés en deux endroits espacés d'au moins 1 m.

Avant de commencer l'essai, on retire tous les revêtements de la gaine.

9.2.3 *Appareil, mode opératoire et conditions d'essais*

En conformité avec les paragraphes 9.1.3, 9.1.4 et 9.1.5.

Dans le cas des câbles ayant une armure ou un conducteur concentrique sous la gaine extérieure, le diamètre du mandrin doit être défini dans la norme particulière au type de câble considéré.

9.2.4 *Prescription*

A la fin du mode opératoire décrit au paragraphe 9.1.4, on examine les éprouvettes sans les dérouler du mandrin. La gaine des deux éprouvettes ne doit pas présenter de craquelure visible à l'œil nu, normal ou corrigé, sans appareil grossisseur.

9.3 *Essai d'allongement à basse température pour enveloppes isolantes de p.v.c.*

9.3.1 *Généralités*

L'essai d'allongement à basse température s'applique aux conducteurs ayant des dimensions supérieures aux valeurs indiquées au paragraphe 9.1.1.

9.3.2 *Echantillonnage*

Chaque conducteur à essayer doit être représenté par deux échantillons de longueur appropriée, prélevés en deux endroits espacés d'au moins 1 m.

9.3.3 *Préparation des éprouvettes*

Après avoir retiré tous les revêtements (y compris la couche semi-conductrice externe, s'il y a lieu), on fend l'enveloppe isolante parallèlement à l'axe du conducteur, puis on retire l'âme et, si elle existe, la couche semi-conductrice interne.

For flat cords, the mandrel diameter shall be based on the minor dimension of the test piece, which is wound on with its minor axis perpendicular to the mandrel.

9.1.6 Requirement

At the end of the procedure described in Sub-clause 9.1.4, the test pieces shall be examined while still on the mandrel. The insulation of both test pieces shall not show any crack when examined with normal or corrected vision without magnification.

9.2 Bending test at low temperature for p.v.c. sheaths

9.2.1 General

This test is intended for cables with an overall diameter up to and including 12.5 mm.

Samples having a larger diameter shall be subjected to the elongation test described in Sub-clause 9.4.

9.2.2 Sampling and preparation of test pieces

Each p.v.c. sheath to be tested shall be represented by two pieces of completed cable, of suitable length, taken from two places separated by at least 1 m.

Before starting the test, any covering shall be removed from the sheath.

9.2.3 Apparatus, procedure and test conditions

In compliance with Sub-clauses 9.1.3, 9.1.4 and 9.1.5.

For cables having an armour or a concentric conductor under the outer sheath, the diameter of the mandrel shall be as specified in the relevant cable standard.

9.2.4 Requirement

At the end of the procedure described in Sub-clause 9.1.4, the test pieces shall be examined while still on the mandrel. The sheath of both test pieces shall not show any crack when examined with normal or corrected vision without magnification.

9.3 Elongation test at low temperature for p.v.c. insulation

9.3.1 General

This test is intended for cores having dimensions exceeding the values given in Sub-clause 9.1.1.

9.3.2 Sampling

Each core to be tested shall be represented by two samples of suitable length taken from two places separated by at least 1 m.

9.3.3 Preparation of test pieces

After all covering (including outer semiconducting layer, if any) has been removed, the insulation shall be cut open in the direction of the axis, after which the conductor and the internal semiconducting layer, if any, shall be removed.

L'enveloppe isolante ne doit être ni meulée ni coupée si son épaisseur moyenne spécifiée ne dépasse pas 2,0 mm. On meule ou coupe les échantillons ayant une épaisseur supérieure, de façon à obtenir une épaisseur régulière de l'échantillon et en veillant à éviter un échauffement excessif. Après meulage ou coupe, l'épaisseur ne doit pas être inférieure à 0,8 mm.

Tous les échantillons doivent être conditionnés pendant au moins 16 h à la température ambiante.

Après cette préparation, trois éprouvettes en forme d'haltère conformes à la figure 7, page 99, ou à la figure 8, page 99, si nécessaire, sont découpées parallèlement à l'axe de chaque échantillon; si cela est possible, on découpe deux haltères placés côte à côte.

Pour les conducteurs à âmes sectoriales, les haltères doivent être découpés dans la partie circulaire du conducteur.

Les haltères doivent être marqués conformément au dernier alinéa du paragraphe 5.1.3b) si l'appareil utilisé permet la lecture directe de la distance entre les traits de repère pendant l'essai.

9.3.4 Appareil

L'essai peut être effectué sur une machine de traction normale munie d'un dispositif de refroidissement, ou sur une machine de traction placée dans une chambre froide. Si l'on utilise un liquide comme réfrigérant, la période de conditionnement ne doit pas être inférieure à 10 min à la température spécifiée; si le refroidissement est effectué dans l'air, la période de conditionnement doit être d'au moins 4 h; cette période peut être réduite à 2 h si l'appareil a subi un refroidissement préalable.

Si l'on utilise un liquide pour le refroidissement, il ne doit pas altérer la matière de l'enveloppe isolante ni de la gaine.

Il est préférable que l'appareil permette la mesure directe de la longueur entre les traits de repère de l'éprouvette pendant l'essai d'allongement, mais il est aussi admis d'employer un appareil où l'allongement est mesuré par la distance entre les mâchoires.

Note. — Un mélange d'éthanol ou de méthanol et de CO₂ solide constitue un réfrigérant approprié pour l'essai des mélanges de p.v.c.

9.3.5 Mode opératoire et conditions d'essais

Les mâchoires de l'appareil de traction doivent être du type sans serrage automatique.

Les haltères sont serrés sur la même longueur de chaque côté dans les deux mâchoires refroidies au préalable.

La distance entre les deux mâchoires doit être voisine de 30 mm pour les deux types d'haltère en cas de lecture directe de la distance entre les marques au cours de l'allongement.

Si c'est au contraire le déplacement des mâchoires qui est mesuré, la distance entre les mâchoires doit être de $30 \pm 0,5$ mm pour les haltères conformes à la figure 7 et $22 \pm 0,5$ mm pour les haltères conformes à la figure 8.

La vitesse d'écartement des mâchoires de la machine de traction doit être de 25 ± 5 mm/min.

La température d'essai doit être celle spécifiée pour le type de mélange de p.v.c. et indiquée dans la norme particulière au type de câble considéré.

L'allongement est déterminé par la mesure de la distance entre les traits de repère, si cela est possible, ou entre les mâchoires au moment de la rupture.

9.3.6 Evaluation des résultats et prescription

Pour le calcul de l'allongement, l'augmentation de la distance entre les traits de repère est rapportée à la distance initiale de 20 mm (ou 10 mm en cas d'emploi de l'haltère selon la figure 8), puis exprimée en pourcentage de cette distance.

Si, en variante, on adopte la méthode consistant à mesurer la distance entre mâchoires, l'accroissement de cette distance doit être comparé à la distance initiale, c'est-à-dire 30 mm pour les haltères conformes à la figure 7 et 22 mm pour les haltères conformes à la figure 8. Dans cette méthode, on doit examiner l'éprouvette avant de

The insulation need not be ground or cut if its mean specified thickness does not exceed 2.0 mm. Samples having a thickness exceeding this limit shall be ground or cut to obtain a regular thickness of the sample, care being taken to avoid undue heating. After grinding or cutting, the thickness shall be not less than 0.8 mm.

All samples shall be conditioned at ambient temperature for at least 16 h.

After this preparation, three dumb-bells from each sample in accordance with Figure 7, page 99, or if necessary Figure 8, page 99, shall be punched in the direction of the axis of each sample; if possible, two dumb-bells shall be punched side by side.

For sector-shaped cores, the dumb-bells shall be punched out of the “back” of the core.

The dumb-bells shall be marked in accordance with the last paragraph of Sub-clause 5.1.3b) if an apparatus is used which allows the direct measurement of the distance between the marker lines during the test.

9.3.4 Apparatus

The test may be carried out on a normal tensile machine provided with a cooling device or on a tensile machine installed in a cooling chamber. Using a liquid as refrigerant, the conditioning time shall be not less than 10 min at the specified temperature; when cooling in air, the conditioning period shall be at least 4 h; this period may be reduced to 2 h if the apparatus has been pre-cooled.

If a liquid mixture is used for cooling, it shall not impair the insulating or sheathing material.

An apparatus which allows direct measurement of the distance between the marker lines during the elongation test is preferred; but it is also permissible to use an apparatus with which the displacement between the grips can be measured.

Note. — A suitable refrigerant for testing p.v.c. is a mixture of ethyl-alcohol or methyl-alcohol with solid CO₂.

9.3.5 Procedure and test conditions

The grips of the tensile apparatus shall be of a non-self-tightening type.

In both pre-cooled grips, the dumb-bell shall be clamped over the same length.

The free length between the grips shall be about 30 mm for both types of dumb-bells if the direct measurement of the distance between the marker lines is to be made during the test.

If the displacement of the grips is to be measured, the free length between the grips shall be 30 ± 0.5 mm for the dumb-bell in accordance with Figure 7 and 22 ± 0.5 mm for the dumb-bell in accordance with Figure 8.

The speed of separation of the grips of the tensile machine shall be 25 ± 5 mm/min.

The test temperature shall be as specified for the type of p.v.c. compound in the relevant cable standard.

The elongation shall be determined by measuring the distance between the marker lines, if possible, or between the grips at the moment of the rupture.

9.3.6 Evaluation of the results and requirement

For calculating the elongation, the increase of the distance between the marker lines shall be related to the initial distance of 20 mm (or 10 mm if dumb-bell in accordance with Figure 8 is used), and expressed as a percentage of this distance.

If the alternative method of measuring the distance between the grips is used, the increase of this distance shall be related to the original distance, being 30 mm for the dumb-bell in accordance with Figure 7 and 22 mm for the dumb-bell according to Figure 8. When this method is used, the test piece shall be examined before being

la retirer de l'appareil; on doit écarter le résultat obtenu si l'éprouvette a glissé, même partiellement, dans les mâchoires. Au moins cinq valeurs valables sont exigées pour le calcul de l'allongement, sinon l'essai doit être répété.

Sauf spécification contraire, aucun des résultats valables ne doit être inférieur à 20 %.

9.4 *Essai d'allongement à basse température pour les gaines de p.v.c.*

9.4.1 *Généralités*

L'essai d'allongement à basse température s'applique aux câbles ayant un diamètre extérieur supérieur à la valeur indiquée au paragraphe 9.2.1.

9.4.2 *Echantillonnage*

Chaque gaine à essayer doit être représentée par deux échantillons de longueur appropriée, prélevés en deux endroits espacés d'au moins 1 m.

9.4.3 *Préparation des éprouvettes*

Après avoir retiré tous les revêtements, on fend la gaine parallèlement à l'axe du câble, puis on retire les conducteurs, les bourrages et, s'il en existe, les autres parties internes.

Pour les câbles avec conducteur concentrique ou armure, on doit couper une bande de gaine en suivant les empreintes des éléments métalliques.

La gaine n'a besoin d'être ni meulée ni coupée si son épaisseur moyenne spécifiée ne dépasse pas 2,0 mm. On meule ou coupe les échantillons ayant une épaisseur supérieure, de façon à obtenir une épaisseur régulière de l'échantillon et en veillant à éviter un échauffement excessif.

Après meulage ou coupe, l'épaisseur ne doit pas être inférieure à 0,8 mm. Toutes les bandes doivent être conditionnées pendant au moins 16 h à la température ambiante.

Après cette préparation, trois éprouvettes en forme d'haltère conformes à la figure 7, page 99, ou à la figure 8, page 99, si nécessaire, sont découpées parallèlement à l'axe de chaque échantillon; si cela est possible, on découpe deux haltères placés côte à côte.

Les haltères doivent être marqués conformément au dernier alinéa du paragraphe 5.1.3b) si l'appareil utilisé permet la lecture directe de la distance entre les traits de repère pendant l'essai.

9.4.4 *Appareil*

Se conformer au paragraphe 9.3.4.

9.4.5 *Mode opératoire et conditions d'essais*

Se conformer au paragraphe 9.3.5.

9.4.6 *Evaluation des résultats et prescription*

Se conformer au paragraphe 9.3.6.

9.5 *Essai de choc à basse température pour les enveloppes isolantes et les gaines de p.v.c.*

9.5.1 *Généralités*

L'essai de choc à froid est applicable à tous les types de câbles avec gaine de p.v.c., quel que soit l'isolant des conducteurs, et aux enveloppes isolantes de p.v.c. des fils et câbles souples ronds ou méplats, sans gaine de p.v.c., dans la mesure où la norme particulière au type de câble considéré le prescrit.

removed from the apparatus; if the test piece has partly slipped out of the grips, the result shall be ignored. At least five valid results are required for calculating the elongation, otherwise the test shall be repeated.

Unless otherwise specified, none of the valid results shall be less than 20%.

9.4 *Elongation test at low temperature for p.v.c. sheaths*

9.4.1 *General*

The elongation test at low temperature is intended for cables having an overall diameter exceeding the value given in Sub-clause 9.2.1.

9.4.2 *Sampling*

Each sheath to be tested shall be represented by two samples of suitable length taken from two places separated by at least 1 m.

9.4.3 *Preparation of test pieces*

After any covering has been removed, the sheath shall be cut open in the direction of the axis, after which the cores and fillers and other internal parts (if any) shall be removed.

For cables with concentric conductor or armour, a strip of sheath shall be cut following the imprints caused by the metal elements.

The sheath need not be ground or cut if its mean specified thickness does not exceed 2.0 mm. Samples having a thickness exceeding this limit shall be ground or cut to obtain a regular thickness of the sample, care being taken to avoid undue heating.

After grinding or cutting, the thickness shall be not less than 0.8 mm. All strips shall be conditioned at ambient temperature for at least 16 h.

After this preparation, three dumb-bells from each sample in accordance with Figure 7, page 99, or if necessary Figure 8, page 99, shall be punched in the direction of the axis of each sample; if possible, two dumb-bells shall be punched side by side.

The dumb-bells shall be marked in accordance with the last paragraph of Sub-clause 5.1.3b) if an apparatus is used which allows the direct measurement of the distance between the marker lines during the test.

9.4.4 *Apparatus*

In accordance with Sub-clause 9.3.4.

9.4.5 *Procedure and test conditions*

In accordance with Sub-clause 9.3.5.

9.4.6 *Evaluation of the results and requirement*

In accordance with Sub-clause 9.3.6.

9.5 *Impact test at low temperature for p.v.c. insulations and sheaths*

9.5.1 *General*

This cold impact test is intended for p.v.c. sheathed cables of any type, irrespective of the type of insulation of the cores, and for the p.v.c. insulation of wires, cords and flat cords without p.v.c. sheath if required by the relevant cable standard.

L'enveloppe isolante de p.v.c. des câbles avec gaine n'est pas soumise directement à l'essai de choc à froid.

9.5.2 Echantillonnage et préparation des éprouvettes

On prélève trois échantillons de 300 mm au moins de câble complet, prélevés en trois endroits espacés d'au moins 1 m, sur chaque gaine, fil, câble souple rond ou méplat sans gaine, à essayer.

Après avoir retiré tous les revêtements extérieurs éventuels, on coupe chaque échantillon en deux parties égales et on obtient ainsi six éprouvettes devant avoir chacune une longueur au moins égale à 5 fois le diamètre du câble, avec un minimum de 150 mm.

9.5.3 Appareil

L'appareil à utiliser pour cet essai est représenté à la figure 16, page 104, accompagnée d'annotations.

L'appareil reposant sur un bloc de caoutchouc mousse de 40 mm d'épaisseur doit être placé dans un réfrigérateur avant et pendant l'essai.

9.5.4 Conditions d'essais

La température d'essai doit être celle spécifiée pour le type de mélange de p.v.c. et indiquée dans la norme particulière au type de câble considéré.

Pour les câbles d'énergie d'installation fixe, la masse du marteau destinée à l'essai des échantillons doit être conforme à celle prescrite dans le tableau suivant:

Diamètre extérieur (mm)		Masse du marteau (g)
Au-dessus de	Jusqu'à (inclus)	
—	4,0	100
4,0	6,0	200
6,0	9,0	300
9,0	12,5	400
12,5	20,0	500
20,0	30,0	750
30,0	50,0	1 000
50,0	75,0	1 250
75,0	—	1 500

Pour les câbles et conducteurs souples et les câbles de télécommunication, la masse du marteau doit être conforme aux valeurs données dans le tableau ci-dessous:

Diamètre extérieur (mm)		Masse du marteau (g)
Au-dessus de	Jusqu'à (inclus)	
Câbles méplats		100
—	6,0	100
6,0	10,0	200
10,0	15,0	300
15,0	25,0	400
25,0	35,0	500
35,0	—	600

The p.v.c. insulation of sheathed cables is not subjected directly to the cold impact test.

9.5.2 Sampling and preparation of the test pieces

For each sheath, wire, cord or flat cord without sheath to be tested, three samples of completed cable, at least 300 mm long, shall be taken from three places separated by at least 1 m.

After all external covering, if any, has been removed, each sample shall be cut in two equal parts, thus obtaining six test pieces each having a length at least 5 times the diameter of the cable with a minimum of 150 mm.

9.5.3 Apparatus

The apparatus to be used for this test is represented in Figure 16, page 104, with explanations.

The apparatus shall be placed on a pad of sponge rubber about 40 mm thick and held in a refrigerator before and during the test.

9.5.4 Test conditions

The test temperature shall be as specified for the type of p.v.c. compound in the relevant cable standard.

For power cables for fixed installation, the mass of the hammer for testing the samples shall be as given in the following table:

Overall diameter (mm)		Mass of the hammer (g)
Above	Up to and including	
—	4.0	100
4.0	6.0	200
6.0	9.0	300
9.0	12.5	400
12.5	20.0	500
20.0	30.0	750
30.0	50.0	1 000
50.0	75.0	1 250
75.0	—	1 500

For flexible cords, flexible cables and telecommunication cables, the mass of the hammer for testing the samples shall be as follows:

Overall diameter (mm)		Mass of the hammer (g)
Above	Up to and including	
For flat cords		100
—	6.0	100
6.0	10.0	200
10.0	15.0	300
15.0	25.0	400
25.0	35.0	500
35.0	—	600

Le diamètre extérieur mentionné dans les tableaux est celui mesuré sur chaque éprouvette à l'aide d'un pied à coulisse ou d'un mètre-ruban.

Les câbles méplats doivent avoir leur petit axe perpendiculaire au plan du support en acier pendant l'essai.

9.5.5 *Mode opératoire*

On place côte à côte l'appareil et le câble à essayer dans un réfrigérateur réglé à la température prescrite. Le contenu du réfrigérateur doit être refroidi pendant au moins 16 h, cette période comprenant le temps de mise en température de l'appareil. Toutefois, si l'appareil a subi un refroidissement préalable, on peut réduire la période de refroidissement, à condition qu'elle ne soit pas inférieure à 4 h et que les éprouvettes atteignent bien la température d'essai prescrite.

A la fin de ces périodes, chaque éprouvette est placée, à tour de rôle, dans la position indiquée à la figure 16, page 104, et on laisse tomber le marteau d'une hauteur de 100 mm.

Avant d'examiner l'enveloppe isolante des câbles souples ou rigides sans gaine, on laisse les éprouvettes revenir approximativement à la température ambiante après l'essai.

On examine les enveloppes isolantes après avoir tordu les éprouvettes en les maintenant droites, suivant un angle égal à 360° par 100 mm de longueur. Cependant, s'il n'est pas possible de les tordre de cette manière, les éprouvettes doivent être examinées comme il est indiqué pour les gaines.

On examine les gaines de câbles souples ou rigides après les avoir laissés revenir à la température du laboratoire et après les avoir immergées dans l'eau chaude et les avoir fendues parallèlement à l'axe des câbles.

Puis on examine l'intérieur et l'extérieur des gaines et enveloppes isolantes. L'enveloppe isolante des câbles souples ou rigides comportant une gaine ne doit être examinée que sur sa face externe.

9.5.6 *Prescription*

Au moins cinq éprouvettes sur six ne doivent pas présenter de craquelure visible à l'œil nu, normal ou corrigé, sans appareil grossisseur.

10. **Essais de résistance à la fissuration des enveloppes isolantes et gaines de p.v.c.**

10.1 *Essai de choc thermique pour les enveloppes isolantes de p.v.c.*

10.1.1 *Echantillonnage*

Chaque conducteur à essayer doit être représenté par deux échantillons, de longueur appropriée, prélevés en deux endroits espacés d'au moins 1 m.

On retire les revêtements extérieurs éventuels placés sur l'isolant.

10.1.2 *Préparation des éprouvettes*

Les éprouvettes doivent être préparées de l'une des trois manières suivantes:

- Pour les conducteurs de diamètre extérieur ne dépassant pas 12,5 mm, chaque éprouvette est constituée par un tronçon de conducteur isolé.
- Pour les conducteurs de diamètre extérieur supérieur à 12,5 mm dont l'enveloppe isolante ne dépasse pas 5 mm d'épaisseur et pour tous les conducteurs à âmes sectoriales, chaque éprouvette est constituée par une bande prélevée dans l'enveloppe isolante. La largeur de cette bande doit être au moins égale à 1,5 fois son épaisseur sans être inférieure à 4 mm.

On doit découper la bande parallèlement à l'axe du conducteur. Dans le cas de conducteurs à âmes sectoriales, la bande doit être prélevée sur la partie circulaire du conducteur.

The overall diameter referred to in the tables shall be measured on each test piece by a vernier calliper or a measuring tape.

Flat cords shall be tested with their minor axis perpendicular to the steel base.

9.5.5 Procedure

The apparatus and the pieces of cable to be tested shall be placed side by side in a refrigerator and maintained at the specified temperature. The contents of the refrigerator shall then be allowed to cool for a period not less than 16 h, which includes the time for the apparatus to cool down. If the apparatus has been pre-cooled, a shorter cooling period is permissible, but not less than 4 h provided that the test pieces have attained the prescribed test temperature.

At the end of the prescribed periods, each piece in turn shall be placed in position as shown in Figure 16, page 104, and the hammer shall be allowed to fall from a height of 100 mm.

Before examining the insulation of cables or cords without a sheath, the test pieces shall be allowed to attain approximately ambient temperature after the test.

The insulation shall then be examined after the test pieces have been twisted, while held straight, through an angle equal to 360° for each 100 mm of length. If, however, it is not possible to twist the samples in this way, they shall be examined as specified for the sheath.

Before examining the sheath of cables and cords with a sheath, the samples shall be allowed to attain approximately room temperature and then be immersed in hot water; the sheath shall then be cut open in the direction of the axis of the cables.

The inside and outside of the sheath and the insulation shall then be examined. The insulation of cables and cords with sheath shall be examined on the outside only.

9.5.6 Requirement

At least five out of the six test pieces shall show no crack when examined with normal or corrected vision without magnification.

10. Tests for resistance of p.v.c. insulations and sheaths to cracking

10.1 Heat shock test for p.v.c. insulations

10.1.1 Sampling

Each core to be tested shall be represented by two samples of suitable length taken from two places separated by at least 1 m.

External covering, if any, shall be removed from the insulation.

10.1.2 Preparation of test pieces

The test pieces shall be prepared in one of the three following ways:

- a) For cores with an overall diameter not exceeding 12.5 mm, each test piece shall consist of a piece of core.
- b) For cores with an overall diameter exceeding 12.5 mm and having insulation thickness not exceeding 5 mm and for all sector-shaped cores, each test piece shall consist of a strip taken from the insulation whose width shall be at least 1.5 times its thickness, but not less than 4 mm.

The strip shall be cut in the direction of the axis of the conductor. In the case of sector-shaped cores, it shall be cut out of the "back" of the core.

c) Pour les conducteurs de diamètre extérieur supérieur à 12,5 mm et ayant une épaisseur d'isolant supérieure à 5,0 mm, chaque éprouvette est constituée par une bande prélevée comme indiqué en b), puis meulée ou coupée sur la surface extérieure (en évitant tout échauffement), pour obtenir une épaisseur comprise entre 4,0 mm et 5,0 mm. Cette épaisseur doit être mesurée dans la partie la plus épaisse de la bande dont la largeur doit être au moins égale à 1,5 fois son épaisseur.

10.1.3 Enroulement des éprouvettes sur mandrins

Chaque éprouvette est enroulée étroitement, puis fixée sur le mandrin, à température ambiante, de manière à former une hélice à spires jointives.

Le diamètre du mandrin et le nombre de spires sont donnés:

- a) par le premier des tableaux suivants pour les éprouvettes préparées comme indiqué au paragraphe 10.1.2a); pour les câbles méplats, le diamètre du mandrin est défini par la petite dimension du câble, qui est enroulée de façon que son petit axe soit perpendiculaire à l'axe du mandrin;
- b) par le second des tableaux suivants pour les éprouvettes préparées comme indiqué aux paragraphes 10.1.2b) et 10.1.2c). Dans ce cas, la surface intérieure de l'éprouvette doit être en contact avec le mandrin.

Diamètre extérieur de l'éprouvette (mm)	Diamètre du mandrin (mm)	Nombre de spires
Inférieur ou égal à 2,5	5	6
Au-dessus de 2,5 à 4,5 inclus	9	6
Au-dessus de 4,5 à 6,5 inclus	13	6
Au-dessus de 6,5 à 9,5 inclus	19	4
Au-dessus de 9,5 à 12,5 inclus	40	2

Epaisseur de l'éprouvette (mm)	Diamètre du mandrin (mm)	Nombre de spires
Inférieure ou égale à 1	2	6
Au-dessus de 1 à 2 inclus	4	6
Au-dessus de 2 à 3 inclus	6	6
Au-dessus de 3 à 4 inclus	8	6
Au-dessus de 4 à 5 inclus	10	6

Pour l'utilisation de ces tableaux, on doit mesurer le diamètre ou l'épaisseur de chaque éprouvette à l'aide d'un palmer ou de tout autre appareil de mesure convenable.

10.1.4 Chauffage et examen

Chaque éprouvette, enroulée sur son mandrin, doit être placée dans une étuve préchauffée à la température de 150 ± 2 °C et maintenue à cette température pendant 1 h.

Après avoir laissé les éprouvettes revenir approximativement à la température ambiante, on les examine sans les dérouler du mandrin.

Les éprouvettes ne doivent pas présenter de craquelure visible à l'œil nu, normal ou corrigé, sans appareil grossisseur.

10.2 Essai de choc thermique sur les gaines de p.v.c.

10.2.1 Echantillonnage

Chaque gaine à essayer doit être représentée par deux échantillons de longueur appropriée prélevés en deux endroits espacés d'au moins 1 m.

On retire tous les revêtements extérieurs placés sur la gaine.

c) For cores with an overall diameter exceeding 12.5 mm and a wall thickness exceeding 5.0 mm, each test piece shall consist of a strip cut in accordance with b) and then ground or cut (avoiding heating) on the outer surface, to a thickness between 4.0 mm and 5.0 mm. This thickness shall be measured on the thicker part of the strip, whose width shall be at least 1.5 times the thickness.

10.1.3 Winding of the test pieces on mandrels

Each test piece shall be tautly wound and fixed, at ambient temperature, on a mandrel to form a close helix.

The diameter of the mandrel and the number of turns are given:

a) in the first of the tables below for test pieces prepared in accordance with Sub-clause 10.1.2a); for flat cables and cords, the mandrel diameter shall be based on the minor dimension of the cord, which is wound on with its minor axis perpendicular to the mandrel;

b) in the second of the tables below for test pieces prepared in accordance with Sub-clauses 10.1.2b) and 10.1.2c). In this case, the inner surface of the test piece shall be in contact with the mandrel.

External diameter of test piece (mm)	Mandrel diameter (mm)	Number of turns
Up to and including 2.5	5	6
Over 2.5 up to and including 4.5	9	6
Over 4.5 up to and including 6.5	13	6
Over 6.5 up to and including 9.5	19	4
Over 9.5 up to and including 12.5	40	2

Thickness of test piece (mm)	Mandrel diameter (mm)	Number of turns
Up to and including 1	2	6
Over 1 up to and including 2	4	6
Over 2 up to and including 3	6	6
Over 3 up to and including 4	8	6
Over 4 up to and including 5	10	6

For the application of these tables, the diameter or thickness of each test piece shall be measured by means of callipers or other suitable measuring instrument.

10.1.4 Heating and examination

Each test piece, on its mandrel, shall be placed in an air-oven pre-heated to a temperature of $150 \pm 2^\circ\text{C}$ and maintained at that temperature for 1 h.

After the test pieces have been allowed to attain approximately ambient temperature, they shall be examined while still on the mandrel.

The test pieces shall show no crack when examined with normal or corrected vision without magnification.

10.2 Heat shock test for p.v.c. sheaths

10.2.1 Sampling

Each sheath to be tested shall be represented by two samples of cable of suitable length taken from two places, separated by at least 1 m.

Any external covering shall be removed.

10.2.2 Préparation des éprouvettes

- a) Pour les gaines dont le diamètre extérieur ne dépasse pas 12,5 mm, chaque éprouvette est constituée par un tronçon de câble, sauf dans le cas des câbles isolés au polyéthylène et gaine de p.v.c.
- b) Pour les gaines dont le diamètre extérieur est supérieur à 12,5 mm et dont l'épaisseur d'isolant ne dépasse pas 5,0 mm et pour les gaines de câbles isolés au polyéthylène, chaque éprouvette est constituée par une bande prélevée dans la gaine. La largeur de cette bande doit être au moins égale à 1,5 fois son épaisseur sans être inférieure à 4 mm. On doit découper la bande parallèlement à l'axe du câble.
- c) Pour les gaines dont le diamètre extérieur est supérieur à 12,5 mm et dont l'épaisseur d'isolant est supérieure à 5,0 mm, une bande doit être préparée comme indiqué en b) ci-dessus, puis meulée ou coupée sur la surface extérieure (en évitant tout échauffement), pour obtenir une épaisseur comprise entre 4,0 mm et 5,0 mm. Cette épaisseur doit être mesurée dans la partie la plus épaisse de la bande dont la largeur doit être au moins égale à 1,5 fois son épaisseur.

10.2.3 Enroulement des éprouvettes sur mandrins

Chaque éprouvette est enroulée étroitement, puis fixée sur le mandrin, à température ambiante, de manière à former une hélice à spires jointives. Le diamètre du mandrin et le nombre de spires sont indiqués au paragraphe 10.1.3a) pour les éprouvettes préparées suivant le paragraphe 10.2.2a), et au paragraphe 10.1.3b) pour les éprouvettes préparées suivant les paragraphes 10.2.2b) et 10.2.2c).

Le diamètre ou l'épaisseur de chaque éprouvette doivent être mesurés au moyen d'un palmer ou de tout autre appareil de mesure convenable.

10.2.4 Chauffage et examen

Voir le paragraphe 10.1.4.

11. Méthode de détermination de la masse volumique des mélanges élastomériques et thermoplastiques

11.1 Méthode de suspension (méthode générale)

11.1.1 Matériel d'essai

- Ethanol (alcool éthylique) pour analyse ou autre liquide approprié pour les masses volumiques inférieures à 1 g/ml.
- Solution de chlorure de zinc pour les masses volumiques égales ou supérieures à 1 g/ml.
- Eau distillée.
- Cylindre mélangeur.
- Enceinte thermostatée.
- Aréomètre gradué, étalonné à 23 °C.
- Thermomètre gradué en dixièmes de degré Celsius.

11.1.2 Mode opératoire

11.1.2.1 On prélève un échantillon sur l'enveloppe isolante ou la gaine à essayer, perpendiculairement à l'axe du conducteur, et on le découpe en parcelles de 1 mm à 2 mm de longueur d'arête. On détermine la masse volumique en amenant l'éprouvette en suspension dans un liquide ne réagissant pas sur la matière à examiner.

Les mélanges liquides appropriés sont:

- pour une masse volumique présumée inférieure à 1 g/ml, un mélange d'éthanol et d'eau, et
- pour une masse volumique égale ou supérieure à 1 g/ml, un mélange de chlorure de zinc et d'eau.

10.2.2 Preparation of test pieces

- a) For sheaths with an overall diameter not exceeding 12.5 mm, each test piece shall consist of a piece of cable, except for polyethylene-insulated p.v.c. sheathed cables.
- b) For sheaths with an overall diameter exceeding 12.5 mm and with a wall thickness not exceeding 5.0 mm and for sheaths of polyethylene-insulated cables, each test piece shall consist of a strip taken from the sheath, whose width shall be at least 1.5 times its thickness but not less than 4 mm; the strip shall be cut in the direction of the axis of the cable.
- c) For sheaths with an overall diameter exceeding 12.5 mm and a wall thickness exceeding 5.0 mm, each test piece shall consist of a strip cut in accordance with b) and then ground or cut (avoiding heating) on the outer surface, to a thickness between 4.0 mm and 5.0 mm. This thickness shall be measured on the thicker part of the strip, whose width shall be at least 1.5 times the thickness.

10.2.3 Winding of the test pieces on mandrels

Each test piece shall be tautly wound and fixed at ambient temperature on a mandrel to form a close helix. The diameter of the mandrel and the number of turns are given in Sub-clause 10.1.3a) for test pieces prepared in accordance with 10.2.2a), and in Sub-clause 10.1.3b) for test pieces prepared in accordance with Sub-clauses 10.2.2b) and 10.2.2c).

The diameter or thickness of each test piece shall be measured by means of callipers or other suitable measuring instrument.

10.2.4 Heating and examination

In accordance with Sub-clause 10.1.4.

11. Method for determining the density of elastomeric and thermoplastic compounds

11.1 Suspension method (general method)

11.1.1 Testing equipment

- Ethanol (ethyl-alcohol) of analytical grade or another suitable liquid for densities below 1 g/ml.
- Zinc chloride solution for densities equal to or greater than 1 g/ml.
- Distilled water.
- Mixing cylinder.
- Thermostat.
- Hydrometer calibrated at 23 °C.
- Thermometer with 0.1 °Celsius division.

11.1.2 Procedure

11.1.2.1 From the insulation or the sheath to be tested, a sample shall be taken perpendicularly to the conductor axis and cut into small pieces of 1 mm to 2 mm edge length. The density shall be determined by putting the sample in suspension in a liquid which does not react with the material to be tested.

The following liquids are suitable:

- for a density expected to be lower than 1 g/ml, a mixture of ethanol and water,
- for a density of 1 g/ml and higher, a mixture of zinc chloride and water.

11.1.2.2 On introduit deux à trois parcelles de l'échantillon dans le liquide à une température de $23 \pm 0,1$ °C en évitant toute formation de bulles d'air. On mélange le liquide avec de l'eau distillée jusqu'à ce que les parcelles soient en suspension dans le cylindre mélangeur. Le mélange de liquide doit être homogène et maintenu à la température indiquée.

On détermine à l'aide d'un aréomètre gradué la masse volumique du mélange de liquide et on l'indique à la troisième décimale. Celle-ci est égale à la masse volumique des éprouvettes à mesurer.

11.2 Méthode du pycnomètre (méthode de référence)

11.2.1 Appareillage

L'appareillage nécessaire à cette méthode comprend :

- une balance avec une précision de 0,1 mg;
- une fourche à plateaux ou un autre support fixe;
- un pycnomètre de 50 ml de capacité;
- un bain liquide avec un contrôle thermostatique.

11.2.2 Spécimen

Le spécimen doit être prélevé sur l'enveloppe isolante nue ou la gaine nue. La masse du spécimen ne doit pas être inférieure à 1 g, ni supérieure à 5 g. Le spécimen est obtenu par découpage de l'échantillon d'enveloppe isolante ou de gaine en un certain nombre de petits morceaux; les petits tubes d'enveloppe isolante et de gaine doivent être coupés dans le sens longitudinal en deux ou plusieurs parties pour éviter l'inclusion de bulles d'air.

11.2.3 Conditionnement

Le spécimen doit être à la température ambiante de 23 ± 2 °C.

11.2.4 Mode opératoire

On pèse le pycnomètre vide et sec, puis une quantité appropriée du spécimen dans le pycnomètre. On immerge le spécimen en essai dans l'alcool à 96 % et on évacue tout l'air du spécimen, par exemple en faisant le vide dans le pycnomètre placé dans un dessiccateur. On supprime le vide (s'il a été fait) et on remplit le pycnomètre d'un liquide d'immersion. On le porte à une température de $23 \pm 0,5$ °C dans un bain, puis on termine le remplissage exactement à la pleine capacité du pycnomètre. On essuie et on pèse le pycnomètre avec son contenu. On le vide et on le remplit du liquide d'immersion, on évacue l'air et on détermine de nouveau le poids du contenu et du pycnomètre à une température de $23 \pm 0,5$ °C.

11.2.5 Calcul

On calcule la masse volumique de l'enveloppe isolante et de la gaine par la formule suivante:

$$\text{masse volumique à } 23 \text{ °C} = \frac{m}{m_1 - m_2} \times d$$

où :

m = masse du spécimen, en grammes

m_1 = masse du liquide nécessaire pour remplir le pycnomètre, en grammes

m_2 = masse du liquide nécessaire pour remplir le pycnomètre lorsqu'il contient le spécimen, en grammes

d = masse volumique du liquide d'immersion à 23 °C

avec de l'éthanol à 96 %, $d = 0,7988$ g/cm³ à 23 °C

11.1.2.2 Two to three pieces of the sample shall be placed into the liquid at a temperature of 23 ± 0.1 °C, avoiding any formation of air bubbles. Distilled water shall be added to the liquid until the pieces are freely suspended within the liquid in the mixing cylinder. The liquid mixture shall be homogeneous and maintained at the indicated temperature.

The density of the liquid mixture shall be determined by means of the hydrometer and indicated to 3 decimal places; the determined density is the same as that of the samples under test.

11.2 Pycnometer method (reference method)

11.2.1 Apparatus

The apparatus for this method consists of:

- a balance with a precision of 0.1 mg;
- a pan straddle or other stationary support;
- a pycnometer of 50 ml capacity;
- a liquid bath provided with a thermostatic control.

11.2.2 Specimen

The specimen shall be taken from the bare insulation or sheath. The mass of the specimen shall be not less than 1 g and not greater than 5 g. The specimen shall be made by cutting the sample of insulation or sheath into a number of small pieces; small tubes of insulation and sheath shall be cut longitudinally into two or more parts to prevent the enclosure of air bubbles.

11.2.3 Conditioning

The specimen shall be at an ambient temperature of 23 ± 2 °C.

11.2.4 Procedure

After weighing the pycnometer empty and dry, a suitable quantity of the specimen shall be weighed in the pycnometer. The test specimen shall be covered with the immersion liquid (alcohol, 96%) and all air removed from the specimen by, for example, applying a vacuum to the pycnometer standing in a desiccator. Any vacuum applied shall be broken and the pycnometer filled with immersion liquid which shall be brought to a temperature of 23 ± 0.5 °C in a liquid bath, the pycnometer being filled to the limits of its capacity. The pycnometer shall be wiped dry and weighed with its contents, after which it shall be emptied and filled with immersion liquid. Air shall be removed and the weight of the pycnometer and its contents determined at a temperature of 23 ± 0.5 °C.

11.2.5 Calculation

The density of the insulation and sheath shall be calculated as follows:

$$\text{density at } 23 \text{ °C} = \frac{m}{m_1 - m_2} \times d$$

where:

m = mass of specimen, in grams

m_1 = mass of liquid required to fill the pycnometer, in grams

m_2 = mass of liquid required to fill the pycnometer, when containing the specimen, in grams

d = density of immersion liquid at 23 °C

with ethanol at 96%, $d = 0.7988 \text{ g/cm}^3$ at 23 °C

12. Mesure de l'indice de fluidité à chaud du polyéthylène thermoplastique

12.1 Introduction

L'indice de fluidité à chaud (IF) du polyéthylène et des mélanges à base de polyéthylène correspond à la masse de matériau extrudé en 2½ min ou 10 min à 190 °C à travers une filière déterminée, sous l'action d'une charge spécifiée par la méthode utilisée.

La description suivante de l'appareil et du mode opératoire est un extrait de la Recommandation ISO/R 292.

12.2 Appareillage

12.2.1 L'appareillage se compose principalement d'un plastomètre d'extrusion. Sa forme générale est celle indiquée sur la figure 17, page 105. Le polyéthylène, contenu dans un cylindre vertical en métal, est extrudé à travers une filière au moyen d'un piston chargé et à une température contrôlée. Toutes les surfaces de l'appareillage en contact avec la matière soumise à l'essai devront avoir un poli spéculaire.

L'appareillage comporte les parties principales suivantes:

a) Cylindre en acier

Cylindre en acier fixé verticalement et isolé thermiquement afin de pouvoir opérer à 190 °C. Le cylindre doit avoir au moins 115 mm de longueur; son diamètre intérieur peut être compris entre 9,5 mm et 10 mm et doit satisfaire aux exigences du paragraphe 12.2.1b). La base du cylindre doit être isolée thermiquement si la surface du métal à nu est supérieure à 4 cm² et il est recommandé d'utiliser comme produit isolant le polytétrafluoréthylène (épaisseur d'environ 3 mm) pour éviter le collage du produit extrudé.

b) Piston évidé en acier

Piston évidé en acier dont la longueur doit être au moins égale à celle du cylindre. L'axe du cylindre et l'axe du piston doivent coïncider et la longueur utile du piston doit être de 135 mm maximum. Il doit avoir une tête de $6,35 \pm 0,10$ mm de longueur. Le diamètre de la tête doit être inférieur au diamètre intérieur du cylindre de $0,075 \pm 0,015$ mm sur toute la longueur utile du cylindre. De plus, pour le calcul de la charge (paragraphe 12.2.1c)), ce diamètre doit être connu à $\pm 0,025$ mm près. L'arête inférieure de la tête est arrondie selon un rayon de 0,4 mm. L'arête supérieure doit être abattue. Au-dessus de la tête, le piston doit avoir environ 9 mm de diamètre. Un dispositif peut être ajouté au sommet du piston pour supporter une masse amovible, mais le piston doit être isolé thermiquement de cette masse.

c) Charge amovible sur le piston

Les masses combinées de la charge et du piston doivent être telles que la force P exercée soit de:

- $P = 2,16$ kgf (21,2 N) dans le cas de la méthode A selon la Recommandation ISO/R 292.
- $P = 5,0$ kgf (49,1 N) dans le cas de la méthode C selon la Recommandation ISO/R 292.

d) Système de chauffage

Système de chauffage permettant de maintenir le polyéthylène contenu dans le cylindre à la température de $190 \pm 0,5$ °C. L'emploi d'un système de contrôle automatique de la température est vivement recommandé.

e) Dispositif de mesure de la température

Dispositif de mesure de la température introduit aussi près que possible de la filière, mais contenu dans la masse même du cylindre. Ce dispositif doit être étalonné pour mesurer des températures à $\pm 0,1$ °C près.

f) Filière

En acier trempé de $8,000 \pm 0,025$ mm de longueur. Son diamètre intérieur moyen doit être compris entre 2,090 mm et 2,100 mm; il doit être uniforme sur toute la longueur à $\pm 0,005$ mm près (voir la figure 18, page 105). La filière ne doit pas faire de saillie à la base du cylindre.

g) Balance

Précise à $\pm 0,0005$ g.

12. Measurement of the melt flow index of thermoplastic polyethylene

12.1 Introduction

The melt flow index (MFI) of polyethylene and polyethylene compounds is the quantity of material extruded in 2½ min or 10 min at 190 °C through a specified die under the action of a load determined by the method used.

The following description of the apparatus and test procedure for this material test is an extract from ISO Recommendation R 292.

12.2 Apparatus

12.2.1 The apparatus is basically an extrusion plastometer, the general design being as shown in Figure 17, page 105. Polyethylene, which is contained in a vertical metal cylinder, is extruded through a die by a loaded piston under controlled temperature conditions. All surfaces of the apparatus in contact with the material under test shall have a high polish.

The apparatus consists of the following essential parts:

a) Steel cylinder

A steel cylinder fixed in a vertical position and suitably insulated for operation at 190 °C. The cylinder is at least 115 mm long with an internal diameter of between 9.5 mm and 10 mm and complying with the requirements of Sub-clause 12.2.1b). The base of the cylinder shall be thermally insulated if the area of the exposed metal exceeds 4 cm² and it is recommended that the insulating material used be polytetrafluorethylene (thickness about 3 mm) in order to avoid sticking of the extruded material.

b) Steel hollow piston

A steel hollow piston with a length at least the same as the cylinder. The axes of the cylinder and of the piston shall coincide and the effective length of the piston shall be a maximum of 135 mm. There is a head of length 6.35 ± 0.10 mm. The diameter of the head is less than the internal diameter of the cylinder at all points along the working length of the cylinder by 0.075 ± 0.015 mm. In addition, for calculating the load (see Sub-clause 12.2.1c)), this diameter should be known within ± 0.025 mm. The lower edge of the head has a radius of 0.4 mm and the upper edge has its sharp edge removed. Above the head, the piston is relieved to about 9 mm diameter. A stud may be added at the top of the piston to support the removable load, but the piston is thermally insulated from this load.

c) Removable load on top of the piston

The combined masses of the load and the piston shall be such that the force P exercised is:

- $P = 2.16$ kgf (21.2 N) in the case of method A of ISO Recommendation R 292.
- $P = 5.0$ kgf (49.1 N) in the case of method C of ISO Recommendation R 292.

d) Heater

A heater to maintain the polyethylene in the cylinder at a temperature of 190 ± 0.5 °C. An automatic temperature control is strongly recommended.

e) Temperature measuring device

A temperature measuring device located as closely as possible to the die, but situated within the body of the cylinder, the measuring device being calibrated to permit temperature measurement to an accuracy of ± 0.1 °C.

f) Die

A die of length 8.000 ± 0.025 mm made of hardened steel, the mean internal diameter being between 2.090 mm and 2.100 mm and uniform along its length to within ± 0.005 mm (see Figure 18, page 105). The die shall not project beyond the base of the cylinder.

g) Balance

A balance accurate to ± 0.0005 g.

12.3 Echantillons

Les échantillons peuvent être de n'importe quelle forme pouvant être introduite dans la cavité du cylindre, par exemple granulés, poudres, pièces moulées. Les grands échantillons doivent être découpés en tronçons cubiques d'environ 3 mm.

12.4 Nettoyage et entretien de l'appareil

Nettoyer l'appareil après chaque essai.

N'utiliser en aucun cas de produits abrasifs ou susceptibles d'endommager les surfaces du piston, du cylindre ou de la filière, pour éliminer les fragments de polyéthylène restant à leur surface ou pour manipuler une partie quelconque de l'appareil.

Le xylène, le tétrahydronaphtalène ou le kérosène sans odeur sont des solvants qui conviennent pour ce nettoyage. Nettoyer le piston lorsqu'il est encore chaud avec un chiffon trempé dans le solvant, de même, nettoyer le cylindre lorsqu'il est encore chaud, avec un écouvillon trempé dans le solvant. Nettoyer la filière au moyen d'une tige de cuivre ou d'une cheville de bois, étroitement jointive, puis l'immerger dans le solvant porté à ébullition.

Il est recommandé d'enlever à intervalles réguliers, c'est-à-dire une fois par semaine, par exemple, pour les appareils en utilisation constante, la plaque isolante et la plaque de fixation de la filière, s'il y en a une, afin de nettoyer complètement le cylindre (voir la figure 17, page 105).

12.5 Méthode A de la Recommandation ISO/R 292

La méthode A convient à la détermination de l'indice de fluidité à chaud (IF), d'un échantillon de polyéthylène dont l'indice est inconnu.

Mode opératoire

Nettoyer l'appareillage (voir le paragraphe 12.4). Avant de commencer une série d'essais, porter la température du cylindre et du piston à $190 \pm 0,5$ °C pendant 15 min; maintenir ensuite cette température pendant l'extrusion du polyéthylène.

Il est recommandé que le dispositif de mesure de la température (voir le paragraphe 12.2.1e)) soit constitué par un thermomètre en verre à mercure fixé à demeure dans la masse du cylindre (voir la note ci-dessous). Pour obtenir un meilleur contact thermique, il est recommandé d'utiliser un alliage à point de fusion peu élevé, par exemple le métal de Wood.

Note. — Si un autre système de mesure de la température est employé, il doit être étalonné à $190 \pm 0,5$ °C avant le commencement de chaque série d'essais par comparaison avec un thermomètre à mercure en verre, lui-même conforme au paragraphe 12.2.1e) ci-dessus, logé dans le cylindre et immergé dans le polyéthylène à la profondeur convenable.

Remplir le cylindre avec une fraction de l'échantillon (voir le tableau I), et mettre en place, au sommet du cylindre, le piston non encore muni de la charge.

Six minutes après l'introduction de l'échantillon, temps au bout duquel la température du cylindre doit être revenue à $190 \pm 0,5$ °C, placer la charge additionnelle sur le piston pour provoquer l'extrusion du polyéthylène à travers la filière. Mesurer la vitesse d'extrusion en sectionnant la matière extrudée à des intervalles de temps égaux, à la sortie de la filière et avec un instrument tranchant convenable, afin d'obtenir de petites longueurs de produit extrudé que nous appellerons par la suite « extrudats ». Les intervalles de temps à respecter pour obtenir ces extrudats sont donnés dans le tableau I.

Prélever plusieurs extrudats pendant les 20 premières minutes qui suivent l'introduction de l'échantillon dans le cylindre. Rejeter le premier extrudat ainsi que tous ceux contenant des bulles d'air. Peser individuellement les extrudats successifs restants, au nombre de trois au minimum, au milligramme près, et calculer leur masse moyenne. Si la différence entre les valeurs maximale et minimale des pesées individuelles est supérieure à 10 % de la valeur moyenne, annuler l'essai et recommencer avec une fraction de l'échantillon non encore utilisée.

12.3 Test samples

The test samples may be in any form that can be introduced into the bore of the cylinder, e.g. granules, powder, moulded pieces. Large samples should be cut into cubic pieces of about 3 mm.

12.4 Cleaning and maintenance of the apparatus

The apparatus shall be cleaned after each test.

On no account should abrasives or materials likely to damage the surface of the piston, cylinder or die be used in removing superficial polyethylene or in manipulating any part of the apparatus.

Suitable solvents for cleaning the apparatus are xylene, tetrahydronaphthalene or odourless kerosene. The piston shall be cleaned while still hot with a cloth dipped in the solvent, and the cylinder, also while still hot, with a swab dipped in the solvent. The die shall be cleaned with a closely-fitting brass reamer or wooden peg, and then immersed in boiling solvent.

It is recommended that, at fairly frequent intervals, for example once a week for instruments in constant use, the insulating plate and the die-retaining plate, if fitted (see Figure 17, page 105) be removed and the cylinder cleaned thoroughly.

12.5 Method A of ISO Recommendation R 292

Method A is suitable for determining the melt flow index (MFI) of a sample of polyethylene whose MFI is unknown.

Test procedure

The apparatus shall be cleaned (see Sub-clause 12.4). Before beginning a series of tests, the temperature of the cylinder and piston should be at 190 ± 0.5 °C for 15 min and this temperature maintained during the extrusion of the polyethylene.

It is recommended that the temperature measuring device (see Sub-clause 12.2.1e)) be a mercury-in-glass thermometer located permanently within the mass of the cylinder (see note below). A low melting point alloy, such as Wood's metal, improves the thermal contact and its use is recommended.

Note. — If any other temperature measuring device is used, it should be calibrated at 190 ± 0.5 °C before the beginning of each series of tests in comparison with a mercury-in-glass thermometer, conforming to Sub-clause 12.2.1e) above, placed within the cylinder and immersed in polyethylene to its appropriate depth of immersion.

The cylinder shall then be charged with a portion of the sample (see Table I) and the unloaded piston reinserted into the top of the cylinder.

Six minutes after introducing the sample, during which time the temperature of the cylinder should have returned to 190 ± 0.5 °C, the load is placed on the piston to extrude the polyethylene through the die. The rate of extrusion is measured by cutting the extruded material at regular intervals of time at the die with a suitable sharp-edged instrument to give short lengths of extruded material which will be referred to as "cut-offs". The time intervals at which each cut-off is taken are given in Table I.

Several cut-offs shall be taken within 20 min of the introduction of the sample into the cylinder. The first cut-off and any containing air bubbles shall be ignored. The remaining successive cut-offs, of which there shall be at least three, shall be weighed individually to the nearest milligram and the average mass determined. If the difference between the maximum and the minimum values of the individual weighings exceeds 10% of the average, the test results shall be discarded and the test repeated on a fresh portion of the sample.

Expression des résultats

Exprimer l'indice de fluidité à chaud avec deux chiffres significatifs (voir la note 1) et le symboliser par l'expression IF.190.2.A (voir la note 2):

$$\text{IF.190.2.A} = \frac{600 \times m}{t}$$

où:

IF est exprimé en grammes par 10 min

m = masse moyenne des extrudats, exprimée en grammes

t = durée d'extrusion des extrudats, exprimée en secondes

Notes 1. — L'indice de fluidité à chaud du polyéthylène peut être modifié par les traitements thermiques et mécaniques précédents qu'il a subis; en particulier son oxydation peut provoquer une réduction de l'indice de fluidité à chaud. L'oxydation pendant la durée même de l'essai peut généralement être la cause d'une réduction systématique de la masse des extrudats successifs. Ce phénomène n'est pas observé avec des composés polyéthyléniques qui renferment un antioxydant.

2. — IF = indice de fluidité à chaud
 190 = température d'essai, exprimée en degrés Celsius
 2 (ou 5) = charge approximative, exprimée en kilogrammes-force, utilisée pour la détermination
 A (ou C) = méthode utilisée (A ou C) de la Recommandation ISO/R 292

12.6 Méthode C de la Recommandation ISO/R 292

La méthode C convient à la détermination de l'indice de fluidité à chaud d'un échantillon de polyéthylène dont l'indice, mesuré selon la méthode A, est inférieur à 1.

Mode opératoire

Le mode opératoire est le même que pour la méthode A.

Les intervalles de temps pour obtenir les extrudats et la masse d'échantillon à introduire dans le cylindre sont donnés dans le tableau I.

Expression des résultats

Exprimer l'indice de fluidité à chaud avec deux chiffres significatifs (voir la note 1) et le symboliser par l'expression IF.190.5.C (voir la note 2):

$$\text{IF.190.5.C} = \frac{150 \times m}{t}$$

Note. — L'application d'un intervalle de temps plus court (150 s) avec une charge plus importante (5 kgf) fournit des résultats donnés dans l'échelle C, qui coïncident à peu près avec les résultats qu'on aurait pu obtenir si la méthode A et l'échelle A avaient été utilisées. Pourtant, aucune corrélation directe n'existe entre les échelles A et C.

TABLEAU I

Masse d'échantillon à introduire dans le cylindre et intervalles de temps entre chaque coupe
 en fonction des indices de fluidité, pour les méthodes A et C

Indice de fluidité à chaud (IF)	Masse d'échantillon à introduire dans le cylindre (g)	Intervalles de champ (s)
0,1 à 0,5 0,5 à 1	4 à 5 4 à 5	240 120

Expression of results

The MFI should be reported to two significant figures (see Note 1) and expressed in symbols as MFI.190.2.A (see Note 2):

$$\text{MFI.190.2.A} = \frac{600 \times m}{t}$$

where:

MFI is expressed in grams per 10 min

m = average mass of cut-offs, expressed in grams

t = time interval of cut-offs, expressed in seconds

Notes 1. — The MFI of polyethylene may be affected by previous thermal and mechanical treatments, and in particular oxidation will tend to reduce the MFI. Oxidation occurring during the test will usually cause a systematic reduction in the masses of successive cut-offs. This phenomenon is not exhibited by polyethylene compounds containing an anti-oxidant.

2. — MFI = melt flow index
 190 = temperature of test, expressed in degrees Celsius
 2 (or 5) = approximate load, expressed in kilograms-force applied to the melt
 A (or C) = ISO Recommendation R 292 method used (A or C)

12.6 Method C of ISO Recommendation R 292

Method C shall be used for determining the MFI of a sample of polyethylene whose MFI, measured in accordance with method A, is below 1.

Test procedure

The test procedure is the same as for method A.

The time intervals used in obtaining the cut-offs and the mass of the charge put into the cylinder are given in Table I.

Expression of results

The MFI should be reported to two significant figures (see Note 1) and expressed in symbols as MFI.190.5.C (see Note 2):

$$\text{MFI.190.5.C} = \frac{150 \times m}{t}$$

Note. — The use of a shorter cut-off time (150 s) with a heavier load (5 kgf) gives results quoted on scale C which agree approximately with results that would have been obtained had method A and scale A been used. There is, however, no direct correlation between scales A and C.

TABLE I

Time intervals (as a function of melt flow index) used in obtaining the cut-offs and mass of the charge put into the cylinder for methods A and C

Melt flow index (MFI)	Mass of the charge put into the cylinder (g)	Time intervals (s)
0.1 to 0.5	4 to 5	240
0.5 to 1	4 to 5	120

13. Essai de résistance à l'ozone

13.1 Méthode d'essai

13.1.1 Appareil d'essai

L'appareil type d'essai est décrit en détail aux paragraphes 13.2 et 13.3 et comprend :

- un générateur assurant une production contrôlée d'ozone :
- un dispositif pour faire circuler de l'air ozonisé, dans des conditions contrôlées d'humidité et de pression, à travers une chambre contenant les échantillons à essayer ;
- un dispositif pour déterminer le pourcentage de concentration en ozone.

13.1.2 Echantillonnage

Deux échantillons de longueur suffisante (paragraphe 13.1.4b)) doivent être prélevés à l'extrémité accessible du touret ou de la couronne pour chaque conducteur à essayer.

Un seul conducteur peut être essayé dans le cas des câbles multipolaires.

13.1.3 Préparation des échantillons

- S'il existe des revêtements de protection, ils doivent être enlevés s'ils n'adhèrent pas à l'enveloppe isolante. Si des rubans ou des gaines sont appliqués directement sur l'enveloppe isolante avant vulcanisation, y restent pendant la vulcanisation et adhèrent ainsi à l'isolation dans le câble terminé, on ne les enlèvera pas.
- Quel que soit le type d'isolation résistant à l'ozone utilisé sur l'âme, ces revêtements adhérents ne doivent pas présenter de craquelures après une exposition à une concentration d'ozone comprise entre 0,025 % et 0,030 % en volume.
- Les échantillons doivent être exempts de défauts mécaniques tels que coupures, entailles, déchirures, filets détachés, etc.

13.1.4 Enroulement des éprouvettes

- L'un des échantillons doit être courbé dans le sens et dans le plan de la courbure initiale du câble sur la bobine, autour d'un mandrin et suivant l'angle précisé aux paragraphes 13.1.4b) et 13.1.4c). L'autre échantillon doit être courbé dans le plan de la courbure existante, mais en sens inverse.
- Les échantillons doivent être courbés sans torsion à la température ambiante (mais au moins à 20 °C) autour d'un mandrin de laiton, d'aluminium ou de bois convenablement traité et ayant le diamètre suivant :

Diamètre extérieur du conducteur individuel isolé (mm)	Diamètre du mandrin (en multiples du diamètre extérieur du conducteur individuel isolé)
Moins de 12,7	4
12,7 à moins de 19,0	5
19,0 à moins de 31,8	6
31,8 à moins de 44,5	8
44,5 et plus	10

- L'échantillon doit être courbé conformément à la figure 19, page 106, et attaché avec de la ficelle ou du ruban à l'endroit où les extrémités se croisent. Si l'échantillon est trop rigide pour permettre de croiser les extrémités, il pourra être courbé en forme de U et attaché de telle sorte que l'on obtienne au moins une longueur courbée de 180° sur le diamètre spécifié.

13. Ozone resistance test

13.1 Test method

13.1.1 Test apparatus

Typical test apparatus is described in detail in Sub-clauses 13.2 and 13.3 and consists of the following:

- a) a device for generating a controlled amount of ozone;
- b) a means for circulating ozonized air under controlled conditions of humidity and temperature through a chamber containing the specimens to be tested;
- c) a means for determining the percentage of ozone concentration.

13.1.2 Sampling

Each core to be tested shall be represented by two samples of sufficient length (see Sub-clause 13.1.4b)) taken from the accessible end of the reel or coil.

In the case of multicore cables, only one core need be tested.

13.1.3 Preparation of test pieces

- a) Where protective coverings are applied, such coverings shall be removed when they are non-adherent to the insulation. When tapes or jackets are applied directly to the insulation prior to vulcanization, left in place during vulcanization, and are consequently adherent to the insulation in the completed cable, these shall not be removed.
- b) Such adherent coverings, regardless of the type of ozone-resisting insulation used on the conductor, shall show no cracks after exposure to an ozone concentration of not less than 0.025% nor more than 0.030% by volume.
- c) Each test piece shall be free from mechanical defects, such as cuts, dents, tears, loose threads, etc.

13.1.4 Bending of test pieces

- a) One test piece shall be bent in the direction and plane of the existing curvature of the cable around a mandrel and through the specified angle in accordance with Sub-clauses 13.1.4b) and 13.1.4c). The other test piece shall be bent similarly in the plane of the existing curvature, but in the opposite direction.
- b) The test pieces shall be bent without twisting at ambient temperature but at not less than 20 °C, around a brass, aluminium or suitably treated wooden mandrel having the following diameter:

Outside diameter of individual insulated conductor (mm)	Mandrel diameter (as a multiple of the outside diameter of the individual insulated conductor)
Less than 12.7	4
12.7 but less than 19.0	5
19.0 but less than 31.8	6
31.8 but less than 44.5	8
44.5 and above	10

- c) The test piece shall be bent in accordance with Figure 19, page 106, and bound with twine or tape where the ends cross. If the test piece is too rigid to permit crossing of the ends, it may be bent in the form of a U and tied so that at least a 180° bend of the specified diameter is obtained.

13.1.5 Conditionnement des éprouvettes

La surface de chaque échantillon doit être essuyée avec un chiffon propre pour enlever les poussières ou l'humidité. Les échantillons courbés sur leur mandrin doivent être placés dans un dessiccateur pendant 30 min à 45 min pour éliminer l'humidité superficielle, immédiatement avant de les placer dans la chambre d'essai.

13.1.6 Mise en service de l'appareil

- a) On doit faire circuler de l'air dans l'appareil d'essai à un débit constant pendant au moins 15 min avant de courber les éprouvettes. Le débit doit être compris entre 280 litres/h et 560 litres/h. Le manomètre doit indiquer une pression voisine de 12,7 mm d'eau, au-dessus de la pression atmosphérique, dans la chambre d'essai.
- b) Après 15 min au moins de production d'ozone, on vérifie le pourcentage de concentration en ozone, conformément au paragraphe 13.3. La tension du générateur d'ozone ou le débit de l'air doivent être alors réglés de façon à assurer la concentration prescrite en ozone pour le type de câble à essayer.
- c) La température de l'air dans la chambre d'essai doit être de 25 ± 2 °C. Une fois que l'on a obtenu des conditions constantes, on doit faire fonctionner l'appareil d'essai à l'équilibre pendant au moins 45 min.

13.1.7 Mode opératoire et conditions d'essais

- a) On place les éprouvettes dans la chambre d'essai en évitant de toucher la portion soumise à l'essai. Les éprouvettes doivent être fixées dans un plan approximativement vertical, à mi-chemin entre le sommet et le fond, les extrémités libres tournées vers le bas, mais ne touchant pas le fond.
- b) La concentration en ozone et la durée de l'essai sont indiquées, pour chaque matériau, dans la norme particulière au type de câble considéré.

13.1.8 Prescription

Après la durée d'essai spécifiée, les éprouvettes doivent être retirées de la chambre d'essai et examinées: sur les 180° de la partie courbée la plus éloignée de l'attache, l'isolant ne doit présenter aucune craquelure visible à l'œil nu, normal ou corrigé, sans appareil grossisseur.

13.2 Description de l'appareil d'essai

13.2.1 L'appareil type d'essai est représenté par la figure 20, page 106.

Note. — Si de l'acide passe du dessiccateur à acide dans le deuxième dessiccateur, on peut placer un flacon laveur de Durand entre les deux dessiccateurs.

L'air provenant d'une pompe à air ou d'une source d'air comprimé traverse la série de chambres, comme le montre la figure 20.

13.2.2

- a) Le dessiccateur à acide se compose de deux flacons laveurs de Durand de 500 ml remplis à 30% de leur capacité par de l'acide sulfurique — H_2SO_4 — ayant une masse spécifique de 1,84. On monte en série avec ce dessiccateur un deuxième dessiccateur contenant du chlorure de calcium anhydre ou du sulfate de calcium anhydre et un hygromètre à tube en U contenant une petite quantité de sulfate de cuivre anhydre utilisé comme indicateur d'humidité. Le débit de l'air est indiqué par un débitmètre étalonné ayant une capacité d'au moins 700 litres/h.
- b) L'air est ozonisé dans un générateur constitué par une paire d'électrodes concentriques, séparées par un mince diélectrique de verre, entre lesquelles on peut appliquer une tension. Ce générateur peut être alimenté par un transformateur de tension équipé d'une commande de réglage de tension allant de 20 kV à 30 kV.

13.1.5 *Conditioning of test pieces*

The surface of each test piece shall be wiped with a clean cloth to remove dirt or moisture. The bent test pieces on their mandrels shall be placed in a desiccator for 30 min to 45 min to remove surface moisture, immediately before being placed in the test chamber.

13.1.6 *Putting the test apparatus into operation*

- a) Air shall be circulated through the test apparatus at a constant rate of flow for at least 15 min prior to bending the test pieces. The flow should be between 280 litre/h and 560 litre/h. The manometer should indicate a pressure of approximately 12.7 mm of water above atmospheric pressure in the test chamber.
- b) After ozone has been generated for at least 15 min, the percentage of ozone concentration shall be checked in accordance with Sub-clause 13.3. The voltage of the ozone generator or the rate of flow of air shall then be regulated to provide the ozone concentration specified for the type of cable being tested.
- c) The temperature of the air in the test chamber shall be 25 ± 2 °C. When constant conditions are obtained, the test apparatus shall be operated in equilibrium for at least 45 min.

13.1.7 *Test procedure and test conditions*

- a) The test pieces shall be placed in the test chamber, taking care not to handle the test section. The test pieces shall be supported in an approximately vertical plane midway between the top and bottom, with the free ends turned down to, but not touching, the bottom.
- b) The ozone concentration and the test duration, for each material, shall be as specified in the relevant cable standard.

13.1.8 *Requirement*

After the specified test duration, the test pieces shall be removed from the test chamber and examined; the insulation in the 180° sector of the bent portion furthest from the tie shall be free from cracks when examined with normal or corrected vision without magnification.

13.2 *Description of the test apparatus*

13.2.1 Typical test apparatus is shown by Figure 20, page 106.

Note. — If the acid in the acid drier should carry over into the second drier, a Drechsel gas washing bottle may be inserted between the first and second driers.

Air flows from an air pump or compressed-air supply through the series of chambers as indicated in Figure 20.

13.2.2

a) The acid drier consists of two 500 ml Drechsel gas washing bottles filled to 30% of capacity with sulphuric acid (H_2SO_4) having a specific gravity of 1.84. In series with this is a second drier containing anhydrous calcium chloride or anhydrous calcium sulphate, and a U-type hygrometer containing a small quantity of anhydrous copper sulphate which is used as an indicator of moisture. The rate of air flow is indicated by a calibrated flow-meter having a capacity of at least 700 litre/h.

b) Ozonization of the air is accomplished in a generator consisting of a pair of concentric electrodes, separated by a thin glass dielectric, between which voltage may be applied. This generator may be supplied by a potential transformer which is equipped with a variable voltage control rated between 20 kV and 30 kV.

c) La chambre d'essai doit être faite d'un matériau non attaqué par l'ozone et doit être juste assez grande pour recevoir les plus grands échantillons à essayer. Une chambre de grandeur excessive allonge le délai nécessaire pour obtenir la concentration désirée en ozone. Il faut, en général, une chambre de 450 mm à 500 mm de hauteur, d'une capacité de 30 litres à 80 litres. On obtient une forme commode de chambre d'essai en prenant un bocal cylindrique de verre muni d'un couvercle de même diamètre. Ceci permet d'accéder aisément à l'intérieur et d'inspecter l'échantillon sans ouvrir la chambre au cours de l'essai.

d) On place, au voisinage du fond de la chambre d'essai, un filtre constitué par une couche de laine minérale non tassée, maintenue entre deux grilles perforées. L'air ozonisé arrive du générateur dans l'espace situé sous ce filtre. On peut assurer la régulation de la température en disposant la chambre d'essai dans un local à air conditionné, ou en l'immergeant partiellement dans un bain d'eau qui peut être relié à un système d'eau froide et d'eau chaude, ou muni de résistances chauffantes contrôlées thermostatiquement. On place un thermomètre dans le couvercle de la chambre d'essai, le bulbe du thermomètre étant aussi près que possible des échantillons.

e) Pour vider la chambre d'essai, on utilise un dispositif à double robinet, l'un permettant la sortie directe dans l'atmosphère extérieure et l'autre, normalement fermé, servant de robinet de by-pass pour l'essai. Un manomètre est monté sur la tubulure de sortie pour indiquer la pression de la chambre d'essai.

13.3 Détermination de la concentration en ozone

13.3.1 Analyse chimique

a) Solution indicatrice à l'amidon. Mélanger en agitant 1 g d'amidon soluble dans 40 ml d'eau froide et chauffer à ébullition en agitant constamment, jusqu'à ce que l'amidon soit complètement dissous. Diluer avec de l'eau froide à 200 ml environ, ajouter 2 g de chlorure de zinc cristallisé. Laisser la solution reposer, puis décantier le liquide surnageant pour l'utiliser. Renouveler tous les deux ou trois jours. On peut également utiliser une solution fraîche de 1 g d'amidon soluble dans 100 ml d'eau bouillante. Lorsqu'on utilise ces solutions d'amidon comme indicateur, ajouter quelques gouttes d'acide acétique (10 %) à la solution que l'on titre.

b) Solution normale d'iode. Placer 2 g d'iodure de potassium (KI) et 10 ml d'eau dans un tube à pesée et peser le tube et la solution. Ajouter de l'iode directement à la solution, dans le tube à pesée placé sur le plateau de la balance, jusqu'à ce que la quantité totale d'iode en solution soit voisine de 0,1 g. Peser avec soin la solution à laquelle on a ajouté l'iode. Déterminer la quantité d'iode ajoutée à la solution. Retirer le tube à pesée et verser la solution dans un bécher. Laver le tube à pesée tenu au-dessus du bécher avec de l'eau distillée et verser la solution du bécher dans une fiole jaugée à 1 000 ml. Rincer le bécher avec de l'eau distillée versée dans la fiole jaugée de 1 000 ml et diluer la solution dans le flacon jusqu'à 1 litre. Cette solution est assez stable si elle est conservée dans un emplacement frais et obscur, dans une bouteille brune bien bouchée.

c) Solution de thiosulfate de sodium. Préparer une solution de thiosulfate de sodium ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) de concentration approximative égale à celle de la solution normale d'iode, en plaçant environ 0,24 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, 5 H_2O dans une fiole jaugée de 1 000 ml et diluer à 1 litre. Comme cette solution perd progressivement de sa force, la normaliser par rapport à la solution normale d'iode les jours où l'on procède à des essais. La méthode pour calculer la concentration de la solution de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ est décrite dans la méthode d'essais de l'article 13, paragraphe 13.3.1h).

d) Solution d'iodure de potassium (KI). Dissoudre 20 g environ de KI pur dans 2 litres d'eau.

e) Acide acétique (10 %).

f) Recueil du prélèvement. Placer dans le flacon de prélèvement 100 ml de la solution de KI (1 %) légèrement acidifiée par quelques gouttes d'acide acétique et relier ce flacon au robinet de prélèvement et à la burette à gaz, comme le montre la figure 20, page 106. Ouvrir vers l'air le robinet à deux voies de la burette et remplir la burette d'eau, jusqu'à la marque, en levant la bouteille d'aspiration. Fermer le robinet à deux voies sur l'air et l'ouvrir vers le flacon de prélèvement, puis ouvrir le robinet de prélèvement de la chambre d'essai. Abaisser la bouteille d'aspiration jusqu'à ce que la burette soit vide. A ce moment, 500 ml de gaz auront barboté dans la solution de KI. Fermer alors les robinets et enlever le flacon de prélèvement en vue du titrage.

g) Analyse de prélèvement. Ajouter à la solution se trouvant dans la bouteille quelques gouttes de solution fraîchement préparée d'amidon comme indicateur, puis titrer avec la solution normalisée de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

c) The test chamber shall be of a material which is not attacked by ozone, and should be just large enough to accommodate the largest test specimens to be tested. Excessive size results in greater delay in obtaining the desired ozone concentration. A chamber 450 mm to 500 mm in height and having a capacity of 30 litres to 80 litres will generally be required. A convenient form of test chamber is a glass jar having a full-size cover. This permits easy access to the interior and the inspection of specimen without opening the chamber during test.

d) Near the bottom of the test chamber a filter is placed consisting of a layer of loose mineral wool held between two perforated grills. The ozonized air is led from the generator to the space below this filter. Temperature control may be secured by keeping the test chamber in an air-conditioned room or by partially immersing the test chamber in a water bath, which may be connected to a hot and cold water system or provided with electric heaters which are thermostatically controlled. A thermometer is inserted into the cover of the test chamber, with the bulb as near to the test specimens as practicable.

e) Discharge from the test chamber is accomplished by a double cock arrangement, one acting as a direct discharge into the outside atmosphere and the other, normally closed, acting as a bypass test cock. A manometer is inserted in the outlet pipe to indicate pressure in the test chamber.

13.3 Determination of ozone concentration

13.3.1 Chemical analysis

a) Starch indicator solution. Stir 1 g of soluble starch into 40 ml of cold water and heat to boiling, stirring constantly, until the starch is thoroughly dissolved. Dilute with cold water to about 200 ml, and add 2 g of crystallized zinc chloride. Let the solution settle and then pour off the supernatant liquid for use. Renew every two or three days. A fresh solution of 1 g of soluble starch in 100 ml of boiling water may also be used. When using these starch solutions as an indicator, add a few drops of acetic acid (10%) to the solution being titrated.

b) Standard iodine solution. Place 2 g of potassium iodine (KI) and 10 ml of water in a weighing tube, and weigh the tube and solution. Add iodine directly to the solution in the weighing tube on the balance pan until the total iodine in solution is about 0.1 g. Accurately weigh the solution with the added iodine. Determine the amount of iodine added to the solution. Remove the weighing tube and pour the solution into a beaker. Wash the weighing tube held over the beaker with distilled water, and pour the solution from the beaker into a volumetric flask. Rinse the beaker into a 1 000 ml volumetric flask with distilled water and dilute the solution in the flask to 1 litre. This solution is fairly stable if kept in a cool, dark place in a well-stoppered brown bottle.

c) Sodium thiosulphate solution. Prepare a sodium thiosulphate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) solution of approximately the same strength as the standard iodine solution by placing about 0.24 g of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ in a 1 000 ml volumetric flask, and dilute to 1 litre. Since this solution gradually loses strength, standardize it against the standard iodine solution on the day tests are run. The method for calculating the strength of the $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ solution is described in the test method given in Clause 13, Sub-clause 13.3.1h).

d) Potassium iodine (KI) solution. Dissolve about 20 g of pure KI in 2 litres of water.

e) Acetic acid (10%).

f) Collection of sample. Place a 100 ml portion of KI solution (1%), slightly acidified by a few drops of acetic acid, in the sampling bottle and connect the latter to the sampling cock and gas burette as shown in Figure 20, page 106. Open the two-way stopcock on the burette to the air and fill the burette to the mark with water by lifting the aspirator bottle. Close the stopcock to the air and open it to the sampling bottle, and then open the sampling cock on the test chamber. Lower the aspirator bottle until the burette is emptied. When this point is reached, 500 ml of gas will have bubbled through the KI solution. Then, close the stopcocks and withdraw the bottle for titration.

g) Analysis of sample. Add to the solution in the bottle a few drops of freshly prepared starch solution as an indicator, and then titrate with standardized $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ solution.

h) Calculs. Solution de thiosulfate de sodium. Calculer la concentration de la solution $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ au moyen de la formule:

$$E = \frac{F \times C}{S}$$

dans laquelle:

E = équivalent en iode de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, exprimé en milligrammes d'iodure par millilitre de solution de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

F = nombre de millilitres de la solution d'iodure

C = concentration d'iodure en milligrammes par millilitre

S = nombre de millilitres de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ utilisés pour titrer la solution

Ozone. Comme 1 mg d'iodure équivaut à 0,1 ml d'ozone à la température et à la pression ambiantes (à la pression et température moyennes de l'ambiance dans les limites de la précision de cette méthode d'analyse), on peut calculer la teneur en ozone comme suit:

$$O = E \times 0,1$$

dans laquelle:

O = nombre de millilitres d'ozone à la température et à la pression ambiantes, équivalant à 1 ml de la solution de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ utilisée

E = équivalent en iode de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, exprimé en milligrammes d'iodure par millilitre de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

on a alors:

$$\text{pourcentage d'ozone} = \frac{S \times O}{M} \times 100$$

dans laquelle:

S = nombre de millilitres de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ utilisés pour titrer la solution

O = nombre de millilitres d'ozone à la température et à la pression ambiantes, équivalant à 1 ml de la solution de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ utilisée

M = nombre de millilitres de l'échantillon recueillis

13.3.2 Mesure directe avec un ozonimètre

A titre de variante à l'analyse chimique décrite au paragraphe 13.3.1, on peut mesurer directement la concentration en ozone avec un ozonimètre. Cette méthode d'essai repose sur l'absorption par l'ozone de la radiation 2 537 Å (ångströms).

Le matériel doit comprendre une source de rayonnement donnant cette radiation et une cellule photoélectrique, placées de part et d'autre d'une chambre de mesure traversée par l'atmosphère d'ozone dont on veut mesurer la concentration. L'intensité de la radiation 2 537 Å qui peut agir sur la cellule photoélectrique dépend de la concentration de l'ozone dans la chambre de mesure. Le courant engendré dans la cellule photoélectrique est suffisamment amplifié pour être lu directement sur un microampèremètre sensible. La disposition schématique type de cet appareillage est représentée à la figure 21, page 107. Le microampèremètre est directement gradué en pourcentage d'ozone. L'étalonnage de cet instrument se fait par comparaison avec les résultats obtenus par la méthode chimique donnée au paragraphe 13.3.1. L'avantage de cette méthode est que l'on peut, après avoir étalonné, lire en permanence la concentration en ozone sur le microampèremètre sans prélever d'échantillon dans la chambre d'essai, et donc sans perturber l'équilibre.

14. Degré de réticulation du polyéthylène réticulé (PRC)

14.1 Essai d'allongement à chaud (méthode générale)

14.1.1 Objet

Cet essai a pour objet de s'assurer du degré de réticulation du polyéthylène réticulé par la mesure de l'allongement ou de la déformation permanente sous charge à une température de 150 °C.

h) Calculations. Sodium thiosulphate solution. Calculate the strength of the $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ solution as follows:

$$E = \frac{F \times C}{S}$$

where:

E = iodine equivalence of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, expressed as milligrams of iodine per millilitre of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ solution

F = number of millilitres of the iodine solution

C = concentration of iodine, in milligrams per millilitre

S = number of millilitres of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ used to titrate the solution

Ozone. Since 1 mg of iodine is equivalent to 0.1 ml of ozone at ambient temperature and pressure (within the accuracy of this method of analysis at average ambient temperature and pressure), the ozone may be calculated as follows:

$$O = E \times 0.1$$

where:

O = number of millilitres of ozone at ambient temperature and pressure equivalent to 1 ml of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ solution used

E = iodine equivalent of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, expressed as milligrams of iodine per millilitre of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

then:

$$\text{percentage of ozone} = \frac{S \times O}{M} \times 100$$

where:

S = number of millilitres of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ used to titrate the solution

O = number of millilitres of ozone at ambient temperature and pressure equivalent to 1 ml of $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ solution used

M = number of millilitres of the sample collected

13.3.2 Direct measurement with an ozonometer

As an alternative to the chemical analysis described in Sub-clause 13.3.1, the ozone concentration may be measured directly with an ozonometer. This test method is based on the absorption of 2 537 Å (ångström unit) radiation by ozone.

The equipment is composed of a source of 2 537 Å radiation and a photoelectric cell located on the opposite sides of a measuring chamber through which the ozone atmosphere to be measured is passed. The amount of 2 537 Å radiation that is available for activating the photoelectric cell is dependent on the concentration of ozone in the measuring chamber. The current generated in the photoelectric cell is amplified sufficiently to read directly on a sensitive microammeter. A typical schematic arrangement of this apparatus is shown in Figure 21, page 107. The microammeter is marked to read directly in percentage of ozone. The calibration of this instrument is made by comparison with results obtained with the chemical method given in Sub-clause 13.3.1. The advantage in using this method is that, after a calibration is obtained, the ozone concentration is continuously readable on the microammeter without drawing a sample from the test chamber and thus upsetting equilibrium.

14. Degree of cross-linking for cross-linked polyethylene (XLPE)

14.1 Hot set test (general method)

14.1.1 Purpose

This test is to ascertain the degree of cross-linking of cross-linked polyethylene by measurement of elongation and permanent set under load at 150 °C.

14.1.2 Masse volumique

La masse volumique de l'enveloppe isolante en PRC doit être déterminée, selon la méthode d'essais de l'article 11, sur une portion de l'échantillon destiné à l'essai d'allongement à chaud.

14.1.3 Echantillonnage, préparation des éprouvettes et détermination de leur section

Voir la méthode d'essais de l'article 5, paragraphes 5.1.2 et 5.1.4.

On utilise dans cet essai, pour chaque conducteur isolé à essayer, les deux éprouvettes tubulaires ou en forme d'haltère numérotées 0 et 5, qui ne sont pas nécessaires pour un autre traitement de vieillissement, voir le paragraphe 5.1.2f).

Les éprouvettes en forme d'haltère, d'épaisseur comprise entre 0,8 mm et 2 mm, doivent être prélevées dans la partie interne de l'enveloppe isolante, près de l'âme; on éliminera les empreintes et la couche semi-conductrice, s'il y a lieu.

14.1.4 Appareillage

a) l'essai doit se faire dans une étuve comme indiqué au paragraphe 6.1.1 et maintenue à la température de 150 ± 2 °C.

b) Des mâchoires sont prévues de telle manière que chaque éprouvette puisse être suspendue dans l'étuve par la mâchoire supérieure, des poids étant attachés à la mâchoire inférieure de l'éprouvette.

14.1.5 Mode opératoire

a) Les éprouvettes sont suspendues dans l'étuve et des poids sont attachés aux mâchoires inférieures de manière à exercer une force de 20 N/cm² pour les mélanges de masse volumique inférieure ou égale à 1,02 g/ml ou de 40 N/cm² pour les mélanges de masse volumique supérieure à 1,02 g/ml.

b) Après un séjour de 15 min dans l'étuve à 150 °C, la distance entre les traits de repère est mesurée dans les 30 s qui suivent l'ouverture (s'il y a lieu) de la porte de l'étuve et l'on calcule le pourcentage de l'allongement.

c) La mâchoire inférieure doit être ensuite séparée de l'éprouvette dans les 30 s (en coupant l'éprouvette au niveau de la mâchoire) et on laisse reposer l'éprouvette pendant 5 min à 150 °C.

Elle est ensuite enlevée de l'étuve, refroidie lentement jusqu'à la température ambiante; puis on mesure de nouveau la distance entre les traits de repère.

14.1.6 Prescriptions

a) La valeur médiane de l'allongement après 15 min à 150 °C, avec les poids suspendus, ne doit pas dépasser 175%.

b) La valeur médiane de la distance entre les traits de repère, après enlèvement de l'éprouvette de l'étuve et son refroidissement, ne devra pas avoir augmenté de plus de 15% de la valeur avant introduction de l'échantillon dans l'étuve.

14.2 Essai d'extraction par solvant (méthode de référence)

14.2.1 Domaine d'application

La mesure dans laquelle la réticulation a été réalisée dans le polyéthylène réticulé peut se mesurer par extraction de la partie non réticulée du matériau au moyen de solvants tels que le toluène, la décaline ou le xylène. Une de ces méthodes d'extraction est décrite ci-dessous. Elle s'applique aux polyéthylènes réticulés de toutes masses volumiques, y compris ceux qui contiennent des charges, et elle fournit des corrections pour les charges inertes existant dans certains de ces mélanges.

14.1.2 Density

The density of the XLPE insulation shall be determined in accordance with the test method in Clause 11 on a portion of the sample being submitted to the hot set test.

14.1.3 Sampling and preparation of test pieces and determination of their cross-sectional area

See the test method of Clause 5, Sub-clauses 5.1.2 and 5.1.4.

The test pieces to be used are, for each core to be tested, two of those numbered 0 and 5 (which are not required for another ageing treatment, see Sub-clause 5.1.2f)). They are either tubular or dumb-bell test pieces.

The dumb-bell test pieces, not less than 0.8 mm and not more than 2 mm thick, shall be taken from the inner part of the insulating wall, near the conductor, the ridges and semiconducting layer, if any, being removed.

14.1.4 Apparatus

- a) The test shall be carried out in an oven, as specified in Sub-clause 6.1.1, maintained at $150 \pm 2^\circ\text{C}$.
- b) Grips shall be provided, such that each test piece can be suspended from an upper grip in the oven and weights attached to a lower grip attached to the test piece.

14.1.5 Procedure

- a) The test pieces are suspended in the oven, and weights attached to the bottom grips such as to exert a force of 20 N/cm^2 for compounds with densities up to 1.02 g/ml or 40 N/cm^2 for compounds with densities greater than 1.02 g/ml .
- b) After 15 min in the oven at 150°C , the distance between the marker lines is measured, not more than 30 s after the opening (if any) of the oven's door, and the percentage elongation calculated.
- c) The bottom grip shall then be released within the same 30 s from the test piece (by cutting the test piece at the grip) and the test piece shall be allowed to recover for 5 min at 150°C .

It shall then be removed from the oven and allowed to cool slowly to ambient temperature, after which the distance between the marker lines shall be measured again.

14.1.6 Requirements

- a) The median value of the elongation, after 15 min at 150°C , with the weights attached, shall not exceed 175%.
- b) The median value of the distance between marker lines, after removing the sample from the oven and allowing it to cool, shall not have increased by more than 15% from the value before inserting the sample in the oven.

14.2 Solvent extraction test (reference method)

14.2.1 Scope

The extent to which cross-linking has been accomplished in cross-linked polyethylene can be measured by extracting that portion of the material which is not cross-linked with solvents, such as toluene, decalin or xylene. Such an extraction method is described herein. It is applicable to cross-linked polyethylenes of all densities, including those containing fillers, and it provides corrections for the inert fillers present in some of these compounds.

14.2.2 *Résumé de la méthode*

Des échantillons du polyéthylène réticulé doivent être pesés puis immergés dans le solvant d'extraction à la température spécifiée et pendant le temps indiqué. Après extraction, on retire les échantillons, on les sèche et on les pèse de nouveau conformément aux instructions. On calcule la quantité de matière extraite.

14.2.3 *Valeur de la méthode*

De nombreuses propriétés du polyéthylène réticulé varient avec le degré de réticulation de ce matériau. Il s'ensuit qu'une mesure de réticulation, obtenue par extraction, est un moyen de déterminer si les propriétés dépendant de la réticulation ont été obtenues ou non.

Les essais d'extraction permettent de vérifier qu'un polyéthylène réticulé, quel qu'il soit, a subi le traitement de réticulation voulu; ils permettent aussi de comparer divers polyéthylènes réticulés, y compris ceux qui contiennent des charges, pourvu que, pour ces derniers:

- a) La charge ne soit pas soluble dans le toluène, la décaline ou dans le xylène à la température d'extraction.
- b) La teneur en charge du mélange soit connue ou puisse être déterminée.
- c) La réticulation ait été réalisée à un degré suffisant pour empêcher la migration de la charge au cours de l'extraction. On a constaté, en général, que pour des niveaux d'extraction ne dépassant pas 50 % l'agent d'extraction demeure transparent et non mélangé de charge.

A la température de reflux des agents d'extraction, il peut se produire une certaine dégradation du matériau par oxydation, on ajoute donc un antioxydant approprié à l'agent d'extraction pour inhiber cette dégradation.

14.2.4 *Appareillage*

L'appareillage d'extraction doit être du type général suivant:

- Ballon à fond rond à large goulot, avec raccord rodé à l'émeri ou bouchon de liège. Pour une ou deux déterminations en même temps, un ballon de 500 ml convient. Pour plusieurs déterminations en même temps (six au maximum), il faut un ballon de 2 000 ml.
- Chemise chauffante adaptée au ballon et suffisante pour faire bouillir de la décaline (point d'ébullition 187 °C à 193 °C).
- Condensateur à reflux avec raccord rodé à l'émeri ou bouchon de liège s'adaptant au ballon.
- Support à couronne et pinces appropriées.
- Lame bien aiguisée appropriée pour réduire l'échantillon en fins copeaux.
- Toile métallique (laiton ou acier inoxydable) de 0,125 mm d'ouverture.
- Etuve à vide avec « source de vide » capable de créer une pression absolue ne dépassant pas 6,5 kPa, et thermomètre pour mesures à 150 °C.

14.2.5 *Réactifs*

- Décahydronaphtalène (décaline), point d'ébullition 187 °C à 193 °C;
- ou xylène, point d'ébullition 136 °C à 140 °C;
- ou toluène, point d'ébullition 110 °C à 112 °C;
- méthylène 2-2' bis (méthyl-4-terbutyl-6-phénol).

14.2.6 *Echantillons*

Les échantillons doivent être prélevés dans l'enveloppe isolante après avoir retiré les revêtements extérieurs et l'âme conductrice.

14.2.7 *Mode opératoire*

On prépare un porte-échantillon en découpant un morceau de toile métallique (laiton ou acier inoxydable) de 0,125 mm d'ouverture mesurant approximativement 80 mm × 40 mm. Plier ce morceau en deux pour former un carré mesurant approximativement 40 mm de côté; puis fermer deux côtés de ce carré en pliant la toile sur 6 mm à 7 mm et en agrafant ces plis. On forme ainsi une poche ouverte sur le côté supérieur.

14.2.2 Summary of the method

Specimens of the cross-linked polyethylene shall be weighed and then immersed in the extracting solvent at the temperature specified and for the time designated. After extraction, the specimens shall be removed, dried and reweighed as directed. The amount of material extracted is calculated.

14.2.3 Significance

Many important properties of cross-linked polyethylene vary, depending upon the degree to which this material is cross-linked. Hence, a measure of cross-linking obtained by extraction serves as a means for determining whether or not the dependent properties have been fully realized.

Extraction tests permit verification of the proper cure of any given cross-linked polyethylene and they also permit comparison between different cross-linked polyethylenes, including those containing fillers, provided that, for the latter:

- a) The filler is not soluble in either toluene, decalin or xylene at the extraction temperature.
- b) The amount of filler present in the compound either is known or can be determined.
- c) Sufficient cross-linking has been achieved to prevent migration of filler during the extraction. Usually, it has been found that, at extraction levels up to 50 %, the extractant remains clear and free of filler.

Since some oxidative degradation of the material can occur at the reflux temperature of the extractants, suitable anti-oxidant is added to the extractant to inhibit such degradation.

14.2.4 Apparatus

The extraction apparatus shall consist of the following general type:

- Round-bottomed flask with large mouth, with ground glass or cork joint. For one or two determinations at one time, a 500 ml flask is appropriate. For several determinations at one time (limit of six), a 2 000 ml flask is needed.
- Heating mantle to fit flask and with sufficient heating capacity to boil decalin (boiling range 187 °C to 193 °C).
- Reflux condenser with ground glass or cork joint to fit into flask.
- Ring stand and appropriate clamps.
- A sharp blade suitable for reducing the sample to fine shavings.
- 0.125-mm brass or stainless steel wire cloth.
- Vacuum oven with "vacuum source" capable of creating an absolute pressure not higher than 6.5 kPa, and with a thermometer capable of measuring 150 °C.

14.2.5 Reagents

- Decahydronaphthalene (decalin), boiling range 187 °C to 193 °C;
- or xylene, boiling range 136 °C to 140 °C;
- or toluene, boiling range 110 °C to 112 °C;
- 2-2' methylene-bis (4 methyl-6-tertiary-butyl-phenol).

14.2.6 Test samples

Test samples shall be taken from the insulation after removal of outer coverings and conductor.

14.2.7 Procedure

A sample holder shall be prepared by cutting a piece of 0.125 mm brass or stainless steel wire cloth measuring approximately 80 mm × 40 mm; this shall be folded in two to form a square measuring approximately 40 mm. Two sides of the square shall be closed by folding the cloth at the edges about 6 mm to 7 mm and stapling the folds to form a pouch open at the top.